

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**ANALYSE DU PLAN DE TRANSPORT POUR
L'APPROVISIONNEMENT DANS LE
COMMERCE AU DÉTAIL**

**RACHEL BACHMANN
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES
ET GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES)
NOVEMBRE 2000**



**National Library
of Canada**

**Acquisitions and
Bibliographic Services**

**395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada**

**Bibliothèque nationale
du Canada**

**Acquisitions et
services bibliographiques**

**395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada**

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-60883-2

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

**ANALYSE DU PLAN DE TRANSPORT POUR
L'APPROVISIONNEMENT DANS LE
COMMERCE AU DÉTAIL**

présenté par: BACHMANN Rachel

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. SMITH Benjamin T., Ph.D., président

M. LANDEVIN André, Ph.D., membre et directeur de recherche

Mme RIOPEL Diane, ing., docteure., membre

RÉSUMÉ

Dans ce mémoire, nous présentons une méthode pour approximer les coûts de transport pour un problème de tournées de véhicules dans des réseaux ayant certaines caractéristiques géographiques. Grâce à la rapidité de calcul et à la facilité de programmation de la méthode, nous pouvons rapidement évaluer l'effet de certaines modifications sur un réseau de distribution très complexe. La méthode présentée ici est basée sur des techniques utilisées pour résoudre les problèmes de « Bin Packing » traditionnels.

Dans cette étude, nous avons démontré que l'introduction de la flexibilité dans les dates de livraison aux clients d'une entreprise oeuvrant dans le domaine du commerce au détail permet des économies d'au moins 5% dans les coûts de transport aux régions desservies par chemin de fer. Ces économies peuvent représenter des millions de dollars pour une grande entreprise. Malgré des économies plus faibles dans les régions desservies par le réseau routier, notre étude nous amène à croire que de meilleurs résultats pourraient être atteints lorsqu'un logiciel de tournées de véhicules commercial serait utilisé, mais ceci reste à être validé en pratique par l'entreprise.

ABSTRACT

In this thesis document, we present a method to approximate vehicle routing costs on networks having certain geographical characteristics. The method presented here has a very short solution time and is easy to program, which permits us to rapidly evaluate possible changes to a complex distribution network. The method of approximation is based on techniques previously used to solve the traditional Bin Packing Problem.

In our study, we have shown that for the large network of a retailer operating in Canada, introducing flexibility in the delivery dates to stores can easily give 5% savings in some regions serviced by rail, representing millions of dollars for a large company. Despite lower savings in regions serviced by road, combining the results achieved here with the use of a commercial vehicle routing software looks promising, but remains to be validated by the company in practice.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT	v
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	x
LISTE DES ANNEXES	xi
 CHAPITRE I : INTRODUCTION	 1
 CHAPITRE II : REVUE DE LA LITTÉRATURE	 6
2.1 Problèmes de tournées de véhicules	6
2.1.1 Les problèmes de tournées de véhicules pour l'optimisation quotidienne .	7
2.1.2 Les problèmes de tournées de véhicules pour déterminer l'impact d'une décision stratégique	17
 CHAPITRE III : DESCRIPTION DU PROBLÈME	 21
3.1 Le réseau	22
3.2 Techniques de routage	23
3.3 Structure des coûts de transport	24
3.4 Engagements envers les clients	25
3.5 Hypothèses	26
3.5.1 Ignorer les coûts de stockage	27
3.5.2 Ignorer les coûts d'opérations des entrepôts	27
3.5.1 Ignorer les horaires/types de transport	29
3.5.1 Ignorer la consolidation et la collecte après livraison	29
3.5.1 Ignorer les engagements envers certains clients	31
3.5.1 Ignorer les effets d'une complexité de coordination accrue	31
3.6 Conclusion	31
 CHAPITRE IV : MÉTHODE DE RÉOLUTION ET ANALYSE DES RÉSULTATS	 33
4.1 Étude des tournées actuelles	33

4.2	Caractéristiques de l'algorithme	36
4.3	Le problème de bin packing dans la littérature	37
4.4	Développement d'un algorithme	41
4.5	Les scénarios	42
4.5.1	Données	42
4.5.2	Mesures	43
4.5.3	Scénario A - Statu quo	44
4.5.4	Développement des scénarios	47
4.5.5	Scénario B	49
4.5.6	Scénario C	53
4.5.7	Scénario D	58
4.5.8	Scénario E	60
4.5.9	Scénario F	61
4.5.10	Scénario G	63
4.5.11	Scénario H & I	64
4.5.12	Bornes supérieures	64
4.6	Analyse générale	66
CHAPITRE V : CONCLUSION		69
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		72
ANNEXES		79

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 2.1	Références bibliographiques classées par sujet traité	11
Tableau 4.1	Scénarios avec date de livraison fixe ou dynamique	48
Tableau 4.2	Résultats du scénario B	52
Tableau 4.3	Comparaison des situations 1 et 2	54
Tableau 4.4	Résultats du scénario C	57
Tableau 4.5	Résultats du scénario D	59
Tableau 4.6	Résultats du scénario E	61
Tableau 4.7	Résultats du scénario F	62
Tableau 4.8	Résultats du scénario G	63
Tableau 4.9	Bornes supérieures	65
Tableau 4.10	Tableau des scénarios avec classement	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Matrice de l'état des tournées et des dates de livraison	3
Figure 3.1	Réseau sans noeud de transbordement	22
Figure 3.2	Réseau avec noeuds de transbordement	22
Figure 3.3	Définition des différentes dates d'échéance d'une commande	26
Figure 3.4	Variation quotidienne faible	28
Figure 3.5	Variation quotidienne importante	28
Figure 3.6	Chargement consolidé	30
Figure 3.7	Route prise par le chargement	30
Figure 4.1	Composition d'une région	34
Figure 4.2	Visiter deux clients non-liés par une route principale - passer par la ville majeure	36
Figure 4.3	Visiter deux clients non-liés par une route principale - passer par une route secondaire	36
Figure 4.4	Division de la région en sous-régions	45
Figure 4.5	Exemple de volume hebdomadaire pour une sous-région	50
Figure 4.6	Distribution des commandes : situation actuelle	53
Figure 4.7	Distribution des commandes : situation proposée	54
Figure 4.8	Affectation du jour de planification aux sous-régions	55
Figure 4.9	Comparaison graphique des scénarios	66

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

BP : Bin packing

BPR : Mise en contenants radial

TV : Tournée(s) de véhicules

LISTE DES ANNEXES

Annexe I :	Pseudo-code scénario A	79
Annexe II :	Pseudo-code scénario C	81
Annexe III :	Pseudo-code scénario D	86
Annexe IV :	Taux de rotation des stocks - Industrie du commerce au détail	96

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Régulièrement, lorsqu'un président d'entreprise manufacturière désire augmenter le profit de celle-ci, il demande à ses gestionnaires de réaliser des économies sur les coûts opérationnels. À travers les années, ces gestionnaires auraient étudié l'implantation des machines ainsi que le processus de production (Ferrell, 1992). Ils auraient utilisé des méthodes de génie industriel telles que l'analyse de la valeur, les études temps-mouvements et l'équilibrage de la ligne d'assemblage. Plus récemment, ces mêmes gestionnaires auraient peut-être appliqué des techniques plus modernes comme l'utilisation de cartes KanBan, du Juste-à-Temps ou de l'ingénierie simultanée.

De nos jours, les entreprises sont de plus en plus exigeantes. Pour satisfaire ces exigences, les gestionnaires ne doivent plus se concentrer uniquement sur la production, mais davantage sur les activités entourant et supportant la production afin de réaliser des économies supplémentaires. Plus précisément, ces activités incluent (i) la planification de la demande et de l'approvisionnement, (ii) la gestion des fournisseurs, (iii) les opérations et la fabrication, (iv) la distribution physique et le transport et, finalement, (v) la gestion des clients et des commandes (Ernst & Young, 1998). Dans l'industrie, on appelle cette série d'activités la chaîne d'approvisionnement (« supply chain »).

Bien que nous parlions ici des entreprises manufacturières, toute entreprise offrant des biens ou des services peut profiter d'une analyse de sa chaîne d'approvisionnement, qu'elle soit un distributeur de composantes électroniques ou un groupe d'ingénieurs-conseils.

Notre projet porte sur le quatrième élément de la chaîne : la distribution physique et le transport. Il couvre les activités d'expédition, de transport et de réception des produits chez le client.

Nous devons étudier la distribution et le transport pour une grande compagnie œuvrant dans le marché du commerce au détail. Selon Statistiques Canada, le commerce au détail est défini comme « les ventes agrégées effectuées via des installations de vente au détail (points de vente) » (Retail Council of Canada, 1999). Cette industrie contribuait à 6,2% du produit intérieur brut (PIB) et représentait 12% de l'emploi au Canada en 1998. Donc, nous remarquons que cette industrie a une grande influence sur l'économie canadienne. À cause du fait que les entreprises dans ce domaine ne font pas de fabrication, l'étude de la chaîne d'approvisionnement occupe ainsi une plus grande importance. Les activités de la chaîne sont souvent la plus grande source de coûts pour ces entreprises, et c'est donc une place logique pour réaliser les économies désirées.

Dans les opérations quotidiennes de distribution, il y a trois décisions principales à prendre. Elles sont i) quand les livraisons auront lieu, ii) quelles commandes seront chargées pour chaque client, et dans quel ordre, dans les véhicules, et finalement, iii) les tournées que les véhicules effectueront (Baita et. al., 1998). Avant l'arrivée de la micro-informatique, beaucoup d'entreprises fixaient leurs tournées et leurs dates de livraison d'avance. Dans ce cas, nous nous retrouvons dans le cadre supérieur gauche de la figure 1.1. Avec l'apparition des logiciels d'optimisation, il est devenu possible d'introduire des tournées dynamiques, c'est-à-dire, des tournées différentes chaque semaine. Nous nous retrouvons d'abord, dans le cadre inférieur gauche de la figure. Cette transition des tournées fixes vers les tournées dynamiques a été motivée par la recherche d'une diminution des coûts opérationnels, surtout des coûts de transport. Cependant, cette transition implique que les clients doivent accepter un certain degré d'incertitude dans l'heure, et parfois la date de livraison de leurs commandes. Par conséquent, les clients doivent être plus flexibles face aux livraisons. Cette transition requiert aussi une flexibilité additionnelle de la part des employés de l'entrepôt et de la planification. Une transition vers les dates de livraison dynamiques et les tournées dynamiques (cadre inférieur droit) représenterait encore plus d'économies pour la plupart des entreprises. Ceci est dû au fait que la flexibilité accrue permet aux planificateurs de la distribution de profiter de nouvelles opportunités. Par

exemple, ils pourraient parfois attendre pour recevoir d'autres commandes lorsqu'ils ont des remorques qu'ils ne considèrent pas suffisamment pleines pour être envoyées. Dans la situation actuelle, ils ne peuvent pas prendre de telles décisions à cause du manque de flexibilité sur les dates de livraison. Encore une fois, les clients doivent accepter de l'incertitude en ce qui concerne les dates de livraison de leurs commandes.

	PASSÉ	
	PRÉSENT	FUTUR

Figure 1.1 Matrice de l'état des tournées et des dates de livraison

L'objectif de cette étude est de fournir une analyse de plusieurs scénarios de transport à une entreprise, lui permettant ainsi d'identifier des opportunités d'économies sur le coût total de leurs opérations au Canada. Les scénarios proposés introduiront la flexibilité de différentes façons et à différents points de la distribution aux clients, qui peuvent être des magasins et/ou des points de vente industriels (« warehouse outlet »). Un scénario spécifie, lorsqu'il y a un choix, de quelle façon on choisit les commandes à livrer et quand.

Introduire de la flexibilité dans les opérations de distribution où il n'y en avait pas auparavant n'est pas une tâche facile. Pour les intervenants, la flexibilité est associée à l'incertitude et à une complexité de gestion accrue. Pour cette raison, une entreprise qui introduit de la flexibilité dans la distribution à ses clients doit être en mesure de juger de l'ampleur des inconvénients par rapport aux économies réalisables. Donc, dans notre analyse, nous allons présenter les économies possibles associées à chaque scénario. Par la suite, l'entreprise sera en mesure d'utiliser cette analyse pour développer un plan de transport pour leur réseau futur, en tenant compte de l'impact du plan sur les intervenants

du processus. Le plan de transport est constitué d'un scénario ou d'une combinaison de scénarios et indique quand la transition de l'un à l'autre aura lieu.

La méthode prévue pour atteindre l'objectif cité ci-dessus est la suivante :

- Analyser le système existant
- Collecter les données pertinentes dans l'entreprise
- Modéliser le système
- Développer des scénarios pour la planification des livraisons pour l'état actuel et l'état futur, qui respectent les dates d'échéance sur les commandes ainsi que la fréquence minimale de livraison (une fois par semaine)
- Évaluer les bénéfices potentiels de chaque scénario et mentionner son impact attendu sur les éléments non-quantifiables tels que la satisfaction du client et la complexité de résolution
- Identifier les facteurs influençant le coût de chaque scénario et basé sur ces facteurs, suggérer quand il est approprié de passer d'un scénario à l'autre.

La collecte des données pertinentes dans l'entreprise et les étapes qui suivent impliquent une grande quantité de manipulations d'informations. Les données nécessaires pour l'étude peuvent parvenir de deux sources. Elle peuvent être trouvées à la suite d'une recherche des données déjà existantes auprès des différents départements, ou elle peuvent être extraites des informations fournies par l'entreprise, par le biais d'une analyse. Toutefois, les représentants de l'entreprise ont validé les manipulations effectuées et les données résultantes.

Dans ce mémoire, nous présentons une nouvelle méthode pour évaluer l'impact de la flexibilité sur les opérations de distribution d'une grande entreprise. Cette méthode pourrait être utilisée pour juger de l'impact d'autres changements dans le réseau sur les coûts

d'opérations. Par exemple, elle pourrait être utilisée pour évaluer des alternatives de localisation d'entrepôts. Le champ d'application de cette étude ne se limite pas à l'industrie du commerce au détail. En effet, il serait possible d'utiliser les méthodes et les analyses présentées dans le texte qui suit dans d'autres secteurs du marché. Le profil nécessaire pour leurs applications sera discuté plus loin.

Nous allons commencer par une revue de la littérature sur les problèmes de distribution, suivi par une description du problème étudié. Par la suite, nous allons présenter les méthodes utilisées pour résoudre le problème ainsi qu'une analyse des résultats. Finalement, nous allons conclure et indiquer des pistes potentielles de recherche dans ce domaine.

CHAPITRE II

REVUE DE LA LITTÉRATURE

De façon générale, les problèmes de distribution consistent à satisfaire les demandes provenant de plusieurs clients (destinations) à partir d'un ou plusieurs entrepôts (sources), au moindre coût. Normalement, ces problèmes sont résolus en plaçant les demandes des clients d'une certaine façon dans des véhicules de capacité limitée.

L'optimisation d'un réseau de distribution implique deux types de décisions, qui nous permettent de diminuer les coûts ou d'augmenter le niveau de service. Ces deux types sont les décisions stratégiques et les décisions opérationnelles (certains auteurs mentionnent un troisième type de décision, tactique, se retrouvant entre les deux. Afin de simplifier, nous allons considérer uniquement les deux types de décisions mentionnés ci-dessus). Les décisions stratégiques ne sont pas prises tous les jours, et leurs effets sont à moyen et long terme. La localisation des entrepôts ou des noeuds de transbordement, l'affectation des produits aux entrepôts, la fréquence de livraison, et la composition de la flotte de véhicules sont des exemples de décisions stratégiques.

Les décisions opérationnelles sont prises quotidiennement et leurs effets sont immédiats. Par exemple, l'affectation des clients aux entrepôts, l'affectation des produits aux clients, le mode de transport et/ou le choix des véhicules, et les routes prises sont des décisions opérationnelles. Lorsqu'on a plusieurs véhicules, le choix des routes à prendre est effectivement un problème de tournées de véhicules.

2.1 Problèmes de tournées de véhicules

Le problème de tournées de véhicules est de minimiser la distance totale parcourue par k véhicules étant donné que chaque ville du réseau doit être visitée par au moins un véhicule. Chaque véhicule i_k , ayant une capacité C , doit commencer et finir sa tournée au dépôt.

La résolution des problèmes de tournées de véhicules a pour objectif : soit d'optimiser les opérations quotidiennes en trouvant la solution de coût minimal qui satisfait les demandes des clients, soit de déterminer l'impact de certaines décisions stratégiques sur le coût des opérations quotidiennes.

2.1.1 Les problèmes de tournées de véhicules pour l'optimisation quotidienne

Dans les prochains paragraphes, nous allons décrire plusieurs méthodes connues pour résoudre les problèmes de tournées de véhicules. Par la suite, nous allons présenter une série de variantes sur le problème classique de tournées de véhicules qui se retrouvent dans la littérature.

2.1.1.1 Méthodes de résolution

Dans la littérature nous retrouvons trois groupes de méthodes pour résoudre les problèmes de tournées de véhicules. Le premier groupe comprend les méthodes de résolution exactes. Ces méthodes sont basées sur des modèles de programmation linéaire en nombres entiers et sont résolues par des méthodes d'optimisation combinatoire comme la méthode de séparation, évaluation et progression (« Branch and bound »). Dantzig et Ramser (1959) ont présenté un des premiers exemples de l'application de la recherche opérationnelle dans le domaine de la distribution physique. Ils présentent un problème de satisfaction des demandes de tous les clients avec l'objectif de minimiser la distance totale parcourue par tous les véhicules, avec un maximum de deux clients par véhicule. Ils utilisent une procédure basée sur la programmation linéaire en nombres entiers pour trouver une solution presque optimale. Dans la majorité des cas, les techniques de programmation linéaire sont incapables de traiter les problèmes de très grande taille, tel que les problèmes réels, à cause du temps de calcul trop long. Par contre, il existe des exceptions comme le problème de planification des routes de pétroliers présenté par Sherali et al. (1999). L'objectif de leur étude est de déterminer la combinaison de produits à expédier, ainsi que la date et le port

où ces produits devront quitter et arriver à destination. Ils n'ont le choix que de deux routes pour chaque pétrolier et donc, ils développent une heuristique basée sur la programmation linéaire pour résoudre ce problème. Veuillez consulter l'article synthèse de Laporte et Nobert (1987) sur les algorithmes exacts pour la résolution du problème de tournées de véhicules. Pour de l'information plus récente sur les algorithmes exacts, veuillez consulter le chapitre intitulé « Vehicle Routing » par Fisher dans Ball et. al. (1995).

Le deuxième groupe de méthodes de résolution des problèmes de tournées de véhicules est constitué des méthodes heuristiques classiques. Jusqu'à maintenant, ce groupe représente la majorité des travaux dans la résolution des problèmes de tournées de véhicules. Les algorithmes sont souvent basés sur des procédures de construction, d'amélioration ou une combinaison de celles-ci. Ces algorithmes font une recherche relativement limitée de l'espace de solutions, et produisent typiquement des solutions de bonne qualité dans des temps de calcul relativement courts (Laporte et Semet, 1998). L'article de Laporte et Semet (1998) résume les méthodes de résolution heuristiques les plus populaires. Une référence moins récente, mais intéressante aussi pour les heuristiques, est l'article de Bodin et. al. (1983) sur les problèmes de tournées des véhicules et d'affectation de personnel.

Le dernier groupe de méthodes de résolution des problèmes de tournées de véhicules comprend les méthodes métaheuristiques. Une métaheuristique est une stratégie de haut niveau qui guide une heuristique ad hoc pour un problème donné. Les méthodes métaheuristiques ont eu beaucoup de succès en raison de la qualité des solutions trouvées dans des temps de calcul courts. Nous retrouvons une bonne synthèse des méthodes métaheuristiques développées jusqu'à très récemment dans l'article de Gendreau et. al. (1999a).

2.1.1.2 Variantes sur le problème classique de tournées de véhicules

Il existe une littérature abondante sur les problèmes de tournées de véhicules classiques ainsi que des variantes de ces problèmes. Bien que notre recherche ne soit pas exhaustive, nous croyons que la liste suivante couvre la plupart des variantes étudiées dans la littérature. Une synthèse des résultats de cette recherche se trouve au tableau 2.1. Pour chaque article inclus dans ce tableau, on trouve le nom des auteurs, l'année de publication ainsi que les variantes du problème de tournées de véhicules traitées. Nous avons constaté que les articles intègrent souvent plusieurs des variantes suivantes:

- *Inclure les coûts de stockage* : lorsqu'un coût de stockage est subi lors des attentes. Ces attentes peuvent être causées par l'entreposage ou par la durée des tournées.
- *Déterminer une fréquence de livraison* : lorsqu'il est important de fixer une fréquence de livraison pour chaque client.
- *Problème en milieu urbain* : lorsque la densité géographique des noeuds à visiter est relativement haute.
- *Affectation des produits* : lorsqu'il n'y a pas suffisamment de produits pour satisfaire toutes les demandes. Dans ce cas, il faut affecter les produits en stock aux clients et construire les tournées, au moindre coût.
- *Nombre de véhicules prédéterminé* : lorsque le nombre total de véhicules, N , est connu d'avance, l'objectif n'est pas de minimiser le nombre de véhicules ou la distance totale. L'objectif peut être d'équilibrer le travail parmi les N véhicules.
- *Choix de l'entrepôt* : lorsque le produit est présent dans plusieurs endroits. Il faut minimiser le coût total, en choisissant l'entrepôt à partir duquel la commande sera satisfaite et en construisant les tournées, consécutivement ou simultanément.
- *Transporteur indépendant vs flotte privée* : Généralement, lorsque l'entreprise n'a pas suffisamment de véhicules pour effectuer toutes les tournées. Il faut décider

quelles tournées seront faites par un transporteur indépendant et lesquelles seront faites par la flotte de l'entreprise.

- *Collecte après livraison (« Backhaul »)* : lorsque le véhicule peut faire une ou plusieurs collectes lorsqu'il a fini sa tournée.
- *Minimiser le temps total*: lorsque le temps total, et non pas le coût total, des opérations doit être minimisé.
- *Construction de tournées en temps réel et/ou dans un environnement dynamique*: lorsque toutes les informations au sujet de la tournée ne sont pas connues au moment où le véhicule part de l'entrepôt ou lorsque les décisions antérieures ont un effet sur l'état actuel du réseau.

Dans le tableau 2.1, vous trouverez également une colonne dans le tableau intitulée « *Approximation continue* », qui fait référence à une méthode de résolution utilisée. Nous discuterons de cette méthode et de son utilité plus loin dans ce chapitre.

Tableau 2.1 Références bibliographiques classées par sujet traité

	Coûts de stockage	Fréquence de livr.	Milieu urbain	Affectation du produit	Nb. de véhicules prédéterminé	Choix de l'entrepôt	Transporteur indép. vs. privé	Collecte après livraison	Min. temps total	Temps réel/Env. dyn	Approximation continue
Anily & Federgruen (1990)	✓	✓									
Barta et.al. (1998)	✓									✓	
Bertazzi et.al. (1997)	✓	✓									
Blumenfeld & Beckmann (1985)											✓
Brown & Graves (1981)										✓	
Brown et.al. (1987)						✓	✓			✓	
Cheshire et.al. (1982)		✓									
Daganzo & Hall (1993)								✓			✓
Daganzo (1991)	✓	✓									✓
Dejax & Crainic (1987)								✓			
Farvolden et.al. (1993)	✓			✓							
Fisher & Jaikumar (1981)					✓						
Fisher et.al. (1982)						✓	✓				
Frederickson et.al. (1978)					✓						
Gendreau et.al. (1999b)			✓							✓	
Hall & Racer (1995)		✓					✓				✓
Hall (1985)		✓									
Hall (1989)											✓
Hall (1991)								✓			✓
Hammer (1969)									✓		
Harrison (1979)						✓					
Jordan & Burns (1984)								✓			✓
Kim & Kim (1999)	✓	✓									
Langevin & Soumis (1989)			✓								✓
Langevin et.al. (1996)											✓
Mingozzi et.al. (1999)								✓			
Moms (1999)			✓								
Newell (1973)											✓
Trudeau & Dror (1992)	✓										
Yano et.al. (1987)							✓	✓			

Dans les prochains paragraphes, nous présentons les variantes mentionnées avec plus de détails, et nous notons la contribution des auteurs au domaine des problèmes de tournées de véhicules.

2.1.1.2.1 Coûts de stockage

Plusieurs problèmes réels étudiés dans la littérature incorporent le coût de stockage subi en fonction du temps que le produit passe en entreposage et en transport entre le centre de distribution, ou l'usine, et la destination finale. Souvent, le but de ces analyses est de déterminer un compromis qui permet à une entreprise de minimiser les coûts de transport et de stockage, diminuant ainsi le coût total de la solution. Daganzo (1991) intègre les coûts de stockage aux problèmes de tournées de véhicules résolus à l'aide de la méthode d'approximation continue discutée plus loin. Anily and Federgruen (1990) étudient le problème de déterminer la fréquence de visite d'une région, lorsqu'on est obligé de visiter tous les clients de la région à chaque fois, en minimisant les coûts de stockage et de transport à la fois. Ce problème ressemble au problème de réapprovisionnement simultané (« Joint Replenishment Problem »). Baita et al. (1998) ont écrit un article de synthèse sur les problèmes de transport et de stockage dans un environnement dynamique. Dans ce type d'environnement, les demandes ne sont pas nécessairement connues d'avance et les décisions prises ont un impact sur les décisions ultérieures. Dans un autre cas, Kim et Kim (1999) déterminent l'horaire de départ des véhicules et les quantités à livrer à chaque client, mais pas les routes prises par les véhicules. Ils tiennent compte des coûts de stockage chez le client ainsi que des coûts de transport qui sont proportionnels à la distance entre chaque client et le centre de distribution. Leur résultat est de nature cyclique et indique la fréquence à laquelle il faut visiter chaque client. Trudeau et Dror (1992) tiennent compte des coûts de stockage dans leur procédure pour bâtir les tournées quotidiennes lorsque les demandes sont aléatoires. Dans notre problème, nous pouvons ignorer les coûts de stockage en fonction du temps. La raison pour ceci est expliquée plus loin, dans le chapitre 3, *Description du problème*.

2.1.1.2.2 Fréquence de livraison

Anily et Federgruen (1990) et Kim et Kim (1999) ne sont pas les seuls à s'attaquer au problème de la détermination de la fréquence de livraison. Bertazzi et al. (1997) ont étudié le problème de minimiser les coûts de transport et de stockage pour un problème de transport périodique. Hall (1985) détermine la fréquence de livraison pour plusieurs fournisseurs, en reconnaissant que la fréquence peut être différente pour chacun. Dans son livre *Logistics Systems Analysis*, Daganzo (1991) traite le problème de déterminer la fréquence de livraison en tenant compte des coûts de transport et de stockage. Il détermine cette fréquence en fonction du taux de production du produit. Par contre, l'application à un problème multi-produits n'est pas faite. Plusieurs autres articles sur ce sujet peuvent être trouvés dans la bibliographie de Daganzo (1991).

2.1.1.2.3 Milieu urbain

Quelques auteurs se sont attaqués au problème de la distribution en milieu urbain. Ceci diffère des autres types de distribution car les tournées sont courtes, les coûts de transport sont faibles, et la densité des clients dans la région à servir est haute. Langevin et Soumis (1989) présentent une méthode pour créer les tournées avec des contraintes de durée. Morris et al. (1999) font des suggestions pour faciliter la distribution urbaine et pour contrer des difficultés telles que l'espace insuffisant pour décharger le véhicule, le vol et la congestion routière. Gendreau et al. (1999b) proposent l'utilisation de la métaheuristique Tabou pour résoudre des problèmes de tournées de véhicules pour les entreprises de courrier rapide. Ces problèmes ont deux caractéristiques majeures : ils se présentent en milieu urbain et les demandes ne sont pas toutes connues lorsque les routes débutent. Cette deuxième caractéristique est traitée plus loin dans la section 2.1.1.2.10, *Temps réel/Environnement dynamique*.

2.1.1.2.4 Affectation du produit

Farvolden et al. (1993) ont étudié un problème de distribution de grande taille dans le domaine du commerce au détail alimentaire. Le but de leur analyse, comme la nôtre, est de décider quels clients seront servis à chaque jour. Par contre, il existe deux différences entre leur problème et le nôtre. La première différence est liée au fait que les coûts de stockage par rapport aux autres coûts sont plus élevés dans le secteur alimentaire que dans les autres secteurs du commerce au détail, influençant ainsi les méthodes de résolution. La deuxième différence est que dans leur problème, la demande de chaque client pour chaque produit n'est pas nécessairement satisfaite. Donc, leur modèle doit aussi affecter les produits aux clients au moindre coût.

2.1.1.2.5 Nombre de véhicules prédéterminé

Une autre idée intéressante a été apportée par Fisher et Jaikumar (1981) dans leur article sur le développement d'une heuristique dans les problèmes de tournées de véhicules. Ils utilisent un algorithme d'affectation pour affecter chaque commande à un véhicule. L'objectif est de minimiser le coût total des tournées. Par contre, N , le nombre de véhicules disponibles est donné, et donc n'est pas à minimiser. Un avantage de cet algorithme est qu'il donne toujours une solution réalisable s'il en existe une. Frederickson et al. (1978) traitent aussi le problème de construire des tournées avec N véhicules. Leur objectif est la minimisation de la longueur maximale des tournées. Bien que ce problème ressemble aux problèmes de tournées de véhicules et qu'il se présente dans la réalité, nous ne pouvons pas appliquer les méthodes présentées dans ces deux articles car l'objectif à minimiser n'est pas le même.

2.1.1.2.6 Choix de l'entrepôt

Plusieurs auteurs se sont attaqués aux problèmes de distribution lorsque les produits sont entreposés dans plusieurs entrepôts ou centres de distribution. Dans ce cas, l'affectation des clients aux entrepôts doit être faite en conjonction avec la construction des tournées de véhicules. Brown et al. (1987) incorporent cette idée dans un problème de répartition de camions pétroliers, Fisher et al. (1982) l'incluent dans une application informatique pour résoudre des problèmes de tournées de véhicules et Harrison (1979) modélise cette affectation dans un problème réel de distribution dans le secteur pharmaceutique.

2.1.1.2.7 Transporteur indépendant vs. flotte privée

Dans le développement de leur application informatique mentionnée ci-dessus, Fisher et al. (1982) ont aussi inclus le choix d'utiliser un transporteur indépendant ou sa propre flotte. Hall et Racer (1995) ont étudié ce même choix à l'aide de l'approximation continue (voir plus loin dans la section 2.1.2.1.1). Brown et al. (1987) incorporent cette décision dans leur modèle pour répartir les camions pétroliers et Yang et al. (1987) l'incorporent dans leur problème de distribution aux magasins de vente au détail. Dans le problème que nous avons étudié, la majorité des livraisons sont effectuées par la flotte de la compagnie. La justification économique de cette décision a été faite antérieurement par la compagnie.

2.1.1.2.8 Collecte après livraison (« Backhaul »)

Dans la littérature, nous trouvons souvent des problèmes de tournées de véhicules avec une tournée de collecte une fois que la tournée de livraison est terminée. Yano et al. (1987) ont proposé un algorithme exact pour la résolution de ce problème dans le cas où le nombre de clients par véhicule ne dépasse pas quatre. Mingozzi et al. (1999) ont aussi proposé un algorithme exact, capable de résoudre efficacement des problèmes ayant jusqu'à 100 clients. Hall (1991) présente les caractéristiques des routes pour un problème de collecte

après livraison avec plusieurs centres de distribution, un produit unique et un nombre fixe d'arrêts par tournée. Pour un survol des problèmes de tournées de véhicules avec collecte après livraison, veuillez consulter Dejax et Crainic (1987), ou plus récemment, l'article de Mingozzi et al. (1999). Même si les économies associées à la livraison suivie de collecte sont importantes pour l'entreprise étudiée, nous avons décidé de nous concentrer uniquement sur la distribution vers les clients car le volume disponible à prélever des fournisseurs dans chaque région est toujours moindre que le volume à livrer dans cette même région. Ceci est dû au fait que les fabricants de la majorité des produits se trouvent à l'extérieur du Canada.

2.1.1.2.9 Minimiser le temps total

Hammer (1969) présente un cas spécial des problèmes de distribution où l'objectif est de minimiser le temps total de transport des produits. Ceci est applicable surtout dans le domaine militaire, où le but est de déployer les véhicules, équipements et accessoires aux bons endroits le plus rapidement possible.

2.1.1.2.10 Temps réel / Environnement dynamique

Un autre problème de distribution souvent étudié est celui des tournées de véhicules en temps réel. Normalement, cela veut dire que les demandes des clients ne sont pas toutes connues lorsque les véhicules débutent leurs tournées, mais se révèlent au courant d'une période déterminée (ex. une journée). Par ce fait, la solution doit être révisée souvent durant la période déterminée. Dans un environnement dynamique, une partie de l'information nécessaire pour la planification n'est pas connue d'avance et les décisions prises ont un impact sur l'état du réseau futur. Ces deux environnements ne sont pas toujours pareils mais ils nécessitent les mêmes types de méthodes de résolution rapide. Dans l'article de Gendreau et al. (1999b), les auteurs se sont inspirés des applications dans le domaine des services de courrier rapide. Ils présentent une méthode pour résoudre des problèmes en

temps réel à l'aide d'une méthode basée sur la recherche Tabou, une des métaheuristiques discutées dans Gendreau et al. (1999a). Dans les articles de Brown et Graves (1981) et Brown et al. (1987), les auteurs traitent le problème de répartition de camions pétroliers en temps réel. Dans notre cas, les demandes sont toutes connues avant l'étape de construction des tournées, alors le traitement en temps réel n'est pas nécessaire.

2.1.2 Les problèmes de tournées de véhicules pour déterminer l'impact d'une décision stratégique

Beaucoup de décisions stratégiques dans la distribution ont un impact sur les coûts opérationnels, tels que les coûts de transport et les coûts de stockage. Par exemple, l'ajout d'un entrepôt supplémentaire dans un réseau devrait diminuer le coût total associé au transport. Par contre, il est nécessaire d'augmenter la quantité totale de produits dans le réseau si nous désirons conserver le même niveau de service et donc, cet ajout est accompagné d'une hausse des coûts de stockage. Veuillez consulter *Business Logistics Analysis* de Ballou (1992), chapitre 12 pour la justification de ceci.

Parfois, nous désirons juger de l'impact de certains changements dans le réseau sur le coût des opérations avant de les implanter. Dans ces cas, nous devons utiliser des algorithmes simples et rapides. La simplicité nous permet d'évaluer une situation avec un minimum d'information et la rapidité nous permet d'évaluer de nombreuses possibilités en très peu de temps, en variant les paramètres du problème. Souvent les solutions que produisent ces algorithmes ne sont pas précises, mais elles donnent une idée de l'ampleur des économies possibles. De plus, elles sont un outil pour comparer plusieurs changements ou pour fixer la valeur des paramètres. Par exemple, ces algorithmes, et l'analyse subséquente des résultats, peuvent aider une entreprise à effectuer des changements dans la localisation de ses entrepôts ou dans la composition de sa flotte de véhicules, à estimer la capacité de son réseau, ou à évaluer l'influence de la collecte après livraison sur les coûts de transport.

Dans la prochaine section, nous discutons différentes méthodes pour juger de l'impact d'une décision stratégique sur le coût total associé aux tournées de véhicules.

2.1.2.1 Méthodes de résolution

Certaines méthodes de résolution, comme l'approximation continue, implique le calcul du coût total des tournées par des formules, mais les tournées ne sont pas construites. Avec de telles méthodes, certaines informations sont disponibles, comme le nombre de véhicules requis et la distance totale parcourue. Par contre, nous ne savons pas la composition des remorques. Avec d'autres méthodes, les tournées sont construites et le coût total est la somme des coûts associés à chaque tournée.

2.1.2.1.1 Approximation continue

Beaucoup d'attention a été consacrée à une approche qui implique l'approximation de la distribution des clients dans l'espace par une loi mathématique. Cette idée a été initialement présentée par Gordon Newell (1973). Ce travail, ainsi que les recherches qui en ont découlées, se concentrent sur la représentation de l'emplacement des clients par une fonction de densité, (et sont regroupées sous le titre « d'approximation continue »). L'ensemble de cette recherche est dédié à trouver des formules qui donnent des caractéristiques de la solution lorsque les clients sont distribués selon une fonction de densité, souvent une loi uniforme. Par contre, on trouve que dans la plupart du temps dans les cas réels, les clients ne sont pas distribués selon une loi uniforme. Ceci est particulièrement vrai au Canada car la distribution de la population est loin d'être uniforme sur la superficie, surtout à cause du climat et de la géographie. Blumenfeld et Beckmann (1985) ont introduit l'idée d'avoir des regroupements plus denses parmi les autres clients qui sont distribués selon une loi uniforme. Les clients dans ces regroupements sont eux-mêmes distribués selon une loi uniforme sur l'aire du regroupement. Chiffrer la densité r_s des clients simples et la densité r_u ($r_u > r_s$) des clients regroupés reste difficile. Encore une fois, cette représentation est rarement conforme à la réalité. Par contre, nous croyons que

la contribution de Blumenfeld et Beckmann montre que la recherche dans ce domaine s'oriente de plus en plus vers la résolution de problèmes réels. Dans l'avenir, il serait peut-être possible de faire une approximation de n'importe quel réseau existant et par la suite, effectuer certains calculs rapides sur ces réseaux avec une bonne précision dans les résultats.

Hall (1989) utilise une combinaison d'approximation continue et d'algorithmes de mise en contenants (« Bin Packing ») dans le but de trouver le meilleur compromis entre la longueur moyenne des tournées et le nombre de tournées. Dans son algorithme, Hall divise la région totale en sous-régions et détermine le nombre de véhicules destinés à chacune de ces régions a priori. Il fait ceci à l'aide des techniques d'approximation continue. Par la suite, les commandes sont chargées dans un des véhicules en utilisant un algorithme modifié de mise en contenants.

Plusieurs autres articles qui présentent des algorithmes basés sur l'approximation continue sont énumérés dans le tableau 2.1. Un survol de l'application de l'approximation continue à la distribution physique est présenté dans l'article de Langevin et al. (1996).

2.1.2.1.2 Heuristiques

Une autre méthode qui peut être utilisée pour évaluer l'impact des décisions stratégiques sur les coûts de transport est l'utilisation d'algorithmes heuristiques. Ces algorithmes ont été discutés dans le contexte d'opérations quotidiennes dans la section 2.1.1.1. Les plus simples de ces algorithmes peuvent être utilisés pour évaluer différents changements, grâce à leur temps de calcul rapide ainsi que la facilité de leur programmation.

Harrison (1979) a construit un outil pour évaluer plusieurs stratégies d'une entreprise pharmaceutique face à des coûts variables dans le temps. Dans son article, il étudie différentes localisations d'entrepôts à l'aide des modèles d'optimisation et de simulation. L'algorithme qu'il utilise pour déterminer les coûts de transport est basé sur l'algorithme

des économies de Clarke & Wright (1973). Cet algorithme est très populaire grâce à sa simplicité d'implantation.

Dans Bodin et al. (1981), les auteurs suggèrent une méthode pour analyser un réseau de transport en commun futur. Malgré le fait que ce n'est pas dans le domaine de la distribution, il est intéressant de noter qu'ils utilisent différentes techniques telles que les algorithmes heuristiques, la décomposition du problème et l'agrégation des routes pour résoudre des problèmes d'horaire, d'affectation de la main-d'oeuvre et d'affectation des véhicules.

Dans ce mémoire, nous proposons un algorithme pour construire rapidement des tournées basées sur des méthodes de mise en contenants. La justification du choix de cet algorithme ainsi que son développement seront discutés dans le chapitre 4, *Méthode de résolution et analyses des résultats*. Cet algorithme sera utilisé pour évaluer le coût de différents scénarios, chacun introduisant de la flexibilité dans le réseau à un endroit différent ou à un moment différent. Les solutions produites ainsi que l'analyse qui en découle permettront à l'entreprise de pouvoir déterminer le degré de flexibilité désiré pour diminuer les coûts opérationnels, en fonction des exigences des clients. Elle sera aussi en mesure d'utiliser cette analyse pour décider quels clients seront touchés et à quel moment, pour avoir les meilleurs résultats.

Dans cette dernière section, nous avons vu différentes techniques qui peuvent être utilisées pour déterminer l'impact d'une décision stratégique sur les coûts opérationnels, surtout les coûts de transport. Peu importe la technique choisie, l'important est que la solution générée peut nous aider à faire un choix, que ce soit la localisation d'un entrepôt, l'achat d'équipement ou l'introduction de la flexibilité dans un réseau.

CHAPITRE III

DESCRIPTION DU PROBLÈME

Dans les dernières années, la croissance de l'industrie du commerce au détail a eu pour effet de créer une forte concurrence parmi ses « joueurs ». Cette concurrence omniprésente force les entreprises à chercher à augmenter davantage leur profit et à rentabiliser plus rapidement leurs investissements. Face à une augmentation du nombre de concurrents, les entreprises doivent baisser substantiellement leurs dépenses dans le but de simplement garder la part de marché qui leur appartient déjà. Pour y parvenir, beaucoup de compagnies entreprennent des projets d'optimisation de leur réseau de distribution. Ces projets ont pour but de réduire les coûts d'opérations, et ainsi augmenter le profit total. Même une réduction très faible des coûts, en pourcentage (ex. 5%), peut se traduire en profit supplémentaire de plusieurs millions de dollars pour une grande entreprise.

L'optimisation d'un réseau peut comprendre la résolution de problèmes de localisation, de localisation affectation, et de tournées de véhicules. Dans notre cas, la localisation des clients et des entrepôts est considérée fixe. Il est à noter que l'entreprise a dernièrement entrepris un projet d'envergure s'attaquant aux problèmes de localisation d'entrepôts et de l'affectation conséquente des produits à ceux-ci. Une des propositions de ce projet a été l'agrandissement du réseau par l'ajout d'un certain nombre d'entrepôts situés stratégiquement par rapport aux clients. Dans le texte qui suit, nous parlerons de projet d'optimisation du réseau lorsque nous voudrions faire référence à ce projet.

Nous avons développé neuf scénarios de transport, en variant différents paramètres du problème. Ces scénarios définissent, pour chaque client, si sa date de livraison est dynamique ou fixe et si la route sur laquelle il est affecté est dynamique ou fixe. De plus, les scénarios doivent indiquer de quelle façon les commandes du client sont affectées aux journées et aux remorques, lorsqu'il y a un choix. Pour la résolution du problème, notre objectif est de minimiser les coûts de transport pour le réseau entier.

3.1 Le réseau

Le réseau de distribution étudié est composé de deux centres de distribution (CD) et de nombreux clients qui peuvent être des magasins ou des points de ventes industriels (« warehouse outlet »). Afin de respecter la confidentialité de l'entreprise, nous ne pouvons divulguer la taille exacte du réseau. La plupart du temps, tout transport se fait directement du centre de distribution au client et non pas par des nœuds de transbordement (Voir figures 3.1 et 3.2). En général, les produits sont entreposés dans un seul des CD. Lorsque ce n'est pas le cas, le CD duquel on expédie le produit pour chaque client est défini d'avance et ne peut être modifié lors de l'étude.

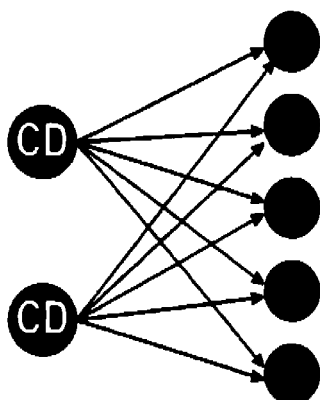


Figure 3.1
Réseau sans nœud de transbordement
Un arc existe entre tous les CDs et tous les clients

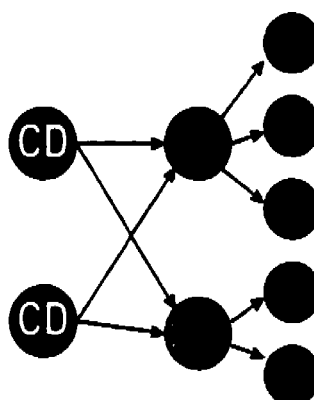


Figure 3.2
Réseau avec nœuds de transbordement
Les CDs et les clients sont liés uniquement aux nœuds de transbordement

Dans le réseau étudié, le transport peut se faire par le réseau routier, par chemin de fer ou par voie maritime. Ceci est typique de l'industrie du commerce au détail dû au ratio valeur/volume du produit relativement faible (évidemment, il existe des exceptions dans l'industrie, par exemple, dans l'électronique sophistiquée). Toute commande est chargée dans une remorque, la taille de celle-ci étant sous certaines restrictions selon le mode de transport choisi parmi les trois types mentionnés. Donc, la remorque devient l'unité pour mesurer la taille d'une commande.

3.2 Techniques de routage

Dans la situation actuelle, chaque client fait partie d'une région géographique spécifique. Chacune de ces régions est affectée à un jour de la semaine. Chaque jour, des tournées sont construites avec les commandes des clients se retrouvant dans les régions affectées ce jour-là, en minimisant les coûts de transport. Lorsque l'ensemble des commandes pour un client dépasse la capacité d'une remorque, les commandes sont affectées de la façon suivante : on remplit le plus de remorques possibles, et avec le reste, on crée une commande plus petite. La petite commande est envoyée avec les commandes d'autres clients dans la même région géographique. Le jour de livraison de chacune de ces remorques pleines est planifié manuellement, en fonction des disponibilités de réception du client.

Les plus gros clients peuvent recevoir une deuxième livraison dans la semaine sur leur jour «optionnel». Ceci veut dire qu'un client peut recevoir jusqu'à quatre livraisons dans la semaine (deux de chaque CD) et encore plus en périodes de pointe. Lors de la planification des livraisons, il est important de s'assurer qu'il n'y a pas de conflits au niveau de la réception des marchandises chez le client. Les conflits arrivent lorsque la capacité de réception du client est excédée. Par exemple, si le client n'a qu'un quai de réception, ou qu'une équipe de réception, il ne peut recevoir deux chargements en même temps. Cette capacité varie selon l'aménagement physique et les dimensions physiques de l'aire de réception du client, ainsi que suivant la quantité de main-d'œuvre disponible. Cette capacité limitée est aussi la justification de la décision de ne pas séparer l'ensemble des commandes pour un client (à part dans le cas où elles excéderaient la capacité d'une remorque comme discuté dans le paragraphe précédent).

Le processus d'affectation des commandes aux remorques au moindre coût est effectivement un problème de tournées de véhicules. Dans l'entreprise étudiée, le nombre moyen de clients par remorque est généralement entre 1 (un) et 3 (trois). Par conséquent, la majorité des véhicules doivent visiter plus d'un client par voyage. Donc, la distance totale, qui influence directement le coût total de la solution, dépend beaucoup des tournées

choisies. Actuellement, le processus de planification de tournées est effectué à l'aide d'un logiciel de tournées de véhicules. Toutes les commandes pour un jour spécifique sont fournies au logiciel au début de la journée. Chaque région géographique est traitée séparément. Le logiciel produit un plan de livraison de ces commandes à l'aide d'algorithmes heuristiques. Par la suite, le planificateur modifie le plan pour tenir compte de quelques contraintes qui ne sont pas respectées par le logiciel. De plus, s'il se rend compte d'améliorations potentielles aux routes, il modifie manuellement les routes en question. Dans la plupart des problèmes de tournées de véhicules réels, les logiciels ne peuvent pas modéliser toutes les contraintes de répartition que l'on désire, et le répartiteur doit souvent modifier la solution manuellement. Les logiciels de tournées de véhicules demeurent des aides à la décision et non pas des fournisseurs de solutions finales. Nous avons constaté que ceci est effectivement le cas dans l'entreprise étudiée.

3.3 Structure des coûts de transport

La structure des coûts de transport varie en fonction du mode de transport choisi. Le mode de transport choisi est justifié par le prix. En général, les déplacements sur de grandes distances (ex. inter-provinces) sont faites par chemin de fer et les déplacements sur de petites distances (intra-province) sont faites par la route. Lorsque le chemin de fer est utilisé, l'entreprise expéditeur a la responsabilité de transporter la remorque jusqu'à la cour de triage du transporteur. Par la suite, le transporteur a la responsabilité d'acheminer la remorque vers la ville majeure la plus proche par chemin de fer et d'effectuer les tournées dans les villes où sont destinées les commandes à l'intérieur. Cette dernière partie du trajet est faite par semi-remorque. Le prix chargé par les transporteurs de chemin de fer est composé d'un prix fixe associé au point le plus loin, qui inclut le coût pour faire la première livraison, et d'un prix fixe pour chaque arrêt supplémentaire. Nous appelons ce deuxième prix le coût par arrêt. Tout autre coût, tel que la rémunération du chauffeur et le coût de l'essence, est inclus dans le prix chargé par le transporteur. Donc, le coût de la tournée se calcule, par exemple, comme suit:

	coût de se rendre à la ville la plus loin :	2000\$
+	coût de faire deux arrêts en route pour cette ville : 100\$ x 2	<u>200\$</u>
=	coût total de la tournée :	2200\$

Lorsque le déplacement en entier est fait par la route, une semi-remorque part de l'entrepôt pour faire sa tournée. Généralement, la tournée est effectuée par une semi-remorque de la flotte privée de l'entreprise. Dans ce cas, le coût est une fonction de la distance totale parcourue plus un coût fixe par arrêt. Le coût par kilomètre est surtout dû à l'essence, à l'usure du véhicule et à la compensation financière du chauffeur. Le coût fixe par arrêt couvre la paie du chauffeur durant l'attente. Donc, pour une destination servie par le réseau routier, la structure du coût se calcule comme suit:

	coût de se rendre à la ville la plus loin :	500 km x 4\$ / km	2000\$
+	coût de faire deux arrêts en route pour cette ville :	100\$ x 2	<u>200\$</u>
=	coût total de la tournée :		2200\$ ¹

3.4 Engagements envers les clients

Indépendamment de la solution adoptée, l'entreprise devrait être en mesure d'aviser le client d'une livraison au moins sept jours à l'avance. Le client doit être avisé de la date exacte de la livraison ainsi que l'entrepôt à partir duquel il la recevra et du volume du chargement à recevoir. Cette livraison devrait se faire durant la fenêtre de livraison, qui est définie en fonction de la fenêtre de chargement et du délai de livraison (figure 3.3). Il est à noter que dans cette figure, le chargement du camion ainsi que la réception de la commande chez le client sont des activités de durée zéro. Lorsqu'une commande est reçue, un temps de traitement est nécessaire. À cause de ce temps de traitement, la fenêtre de chargement ne commence que le lendemain de la réception de la commande. La durée de la fenêtre de chargement est prédéfinie par l'entreprise. Par conséquent, le début de la

¹Les chiffres proposés dans ces deux exemples ne sont pas représentatifs des vrais coûts de transport

fenêtre de livraison correspond au début de la fenêtre de chargement plus le délai de livraison. La fin de la fenêtre de livraison se calcule de la même façon.

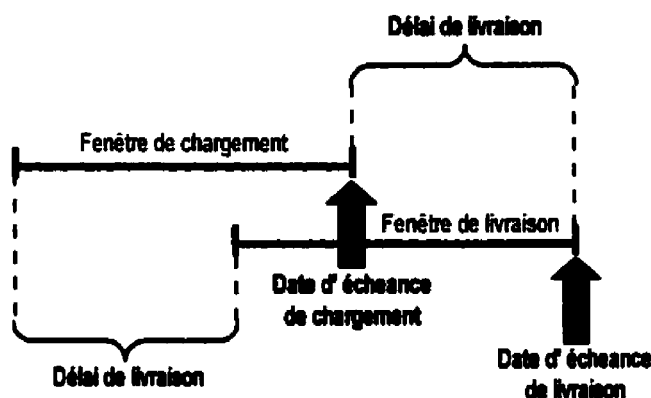


Figure 3.3 Définition des différentes dates d'échéance d'une commande

L'entreprise s'engage à livrer chaque client au moins une fois par semaine. Compte tenu de la date d'échéance, ceci implique qu'un client n'attendra jamais plus de sept jours entre la date où il place une commande et la date où la commande est expédiée. Par conséquent, l'attente maximale pour la livraison de la commande chez le client est égale à sept jours plus le délai de livraison.

3.5 Hypothèses

Nous devons fournir à l'entreprise une analyse qui lui permettrait de prendre certaines décisions concernant la flexibilité nécessaire dans son réseau de distribution. Par la suite, ces décisions deviendraient des données d'entrée (« input ») dans le processus de construction de tournées de véhicules. Ce processus de construction devrait être fait de la même façon qu'actuellement à l'aide du logiciel existant.

Nous avons besoin de simplifier le problème à étudier essentiellement pour deux raisons. Premièrement, nous voudrions accélérer la résolution du problème pour pouvoir fournir les

résultats à l'entreprise dans un court délai. Deuxièmement, nous cherchons des résultats approximatifs, et non pas des résultats précis, vu la nature stratégique de l'étude. Des résultats approximatifs suffisent car le but est de choisir parmi plusieurs scénarios et non pas de déterminer l'impact exact des modifications sur les opérations. Une des façons de simplifier le problème est de poser des hypothèses. En revanche, nous devons nécessairement juger de l'utilité de chacune de ces hypothèses par rapport à son influence sur la qualité de la solution lors de l'étape d'analyse des résultats. Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter les hypothèses que nous avons retenues. Dans le cadre de ce projet, les représentants de l'entreprise ont accepté toutes ces hypothèses.

3.5.1 Ignorer les coûts de stockage

Dans l'industrie du commerce au détail, les coûts de stockage sont relativement faibles comparés aux autres coûts. Par exemple, selon un sondage du Retail Council of Canada, les différents secteurs du commerce au détail ont affiché un niveau moyen de rotation des stocks de 7,18 par année (voir Annexe IV, Retail Council of Canada, 1999). Ce taux est relativement élevé, alors nous avons décidé de négliger le coût de stockage lorsque le produit est en transport. De plus, étant donné que le coût de stockage est très faible, nous n'en tenons pas compte lorsque nous décidons du moment d'expédition. Si nous étions dans une industrie où les coûts de stockage sont très élevés, la décision d'attendre pour pouvoir mieux remplir une remorque, et donc diminuer les coûts de transport, pourrait être préjudiciable car les économies seraient contrebalancées par la hausse des coûts de stockage. Ceci n'est pas le cas dans la plupart des entreprises dans le marché du commerce au détail (les supermarchés étant une des exceptions évidentes).

3.5.2 Ignorer les coûts d'opérations des entrepôts

La seconde hypothèse soutient que la variation quotidienne du volume expédié à partir de l'entrepôt n'a pas d'influence sur le coût total, et ce, pour deux raisons. On pourrait penser qu'une semaine avec des variations très fortes d'un jour à l'autre (figure 3.5) pourrait coûter

plus cher qu'une semaine avec des variations plus faibles (figure 3.4), car la première pourrait obliger l'ajout de quarts de travail supplémentaires pour pouvoir expédier tout le produit. Par contre, nous n'avons trouvé aucune corrélation entre les coûts de la main-d'œuvre et les variations de volume expédié sur la semaine. Donc, la première raison est que, peu importe la variation actuelle, les gestionnaires de l'entrepôt, ainsi que les travailleurs d'entrepôt, réussissent à trouver des façons de contrebalancer ces variations sans augmenter le coût.

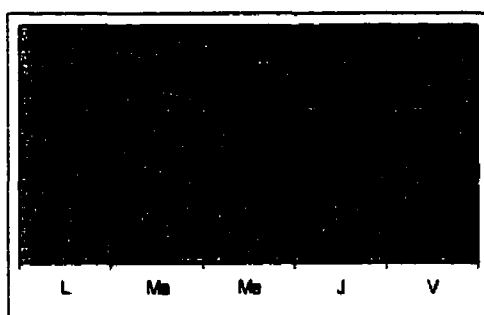


Figure 3.4 Variation quotidienne faible

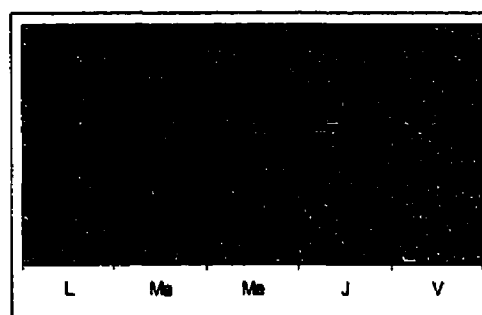


Figure 3.5 Variation quotidienne importante

La ligne droite représente la moyenne de la semaine.

La deuxième raison pour laquelle nous ne tenons pas compte de la variation quotidienne est l'ajout possible de techniques pour compenser les variations. Par exemple, les commandes associées aux promotions hebdomadaires sont connues plusieurs semaines à l'avance. Il serait possible de faire le prélèvement de ces commandes à l'avance lorsque l'entrepôt est sous sa capacité et de ne pas en faire lorsque la capacité de l'entrepôt est atteinte ou excédée. Ceci donne un outil de lissage (« smoothing ») aux gestionnaires de l'entrepôt.

En général, nous pouvons ignorer les effets du plan de transport sur le centre de distribution. Ceci n'est pas une pratique courante, mais nous le justifions par le fait que les économies dans les coûts d'entreposage et de manutention sont faibles comparées aux

économies de transport. Une étude future au niveau opérationnel pourrait déterminer les effets du plan de transport sur les opérations du centre de distribution.

3.5.3 Ignorer les horaires/types de transport

Dans la même ligne d'idée, nous supposons que l'intégration à la solution proposée des horaires imposés par les différents transporteurs utilisés pourrait être faite sans trop de difficulté et sans augmenter le coût de la solution significativement. Par exemple, le train de marchandises entre deux villes majeures peut n'avoir qu'un seul départ par jour et les commandes doivent alors être préparées un certain temps à l'avance pour pouvoir être sur le train du jour. Nous supposons que l'entreprise serait en mesure de gérer le chargement des remorques dans une journée afin de pouvoir respecter certaines contraintes de temps comme celles-ci.

Nous avons aussi fait l'hypothèse de l'absence d'une limite d'équipements pour la flotte propre à l'entreprise. Dans la situation actuelle, la flotte de l'entreprise couvre la majorité des tournées car c'est l'option la moins chère. La possibilité d'utiliser un transporteur indépendant est ignorée, car elle n'a pas d'impact majeur sur le coût total de la solution.

3.5.4 Ignorer la consolidation et la collecte après livraison

La consolidation de chargements entre deux entrepôts pour la même destination est une pratique courante lorsque la destination est très éloignée d'un centre majeur. La remorque est remplie en partie à un des deux entrepôts, se déplace vers l'autre entrepôt, et finalement fait le trajet vers le client. Lorsque deux clients sont affectés à la même remorque, le processus se complique car il faut que la commande du client le moins éloigné provenant du premier entrepôt soit palettisée pour faciliter la tâche de déchargement et rechargement au deuxième entrepôt (voir figures 3.6 et 3.7).

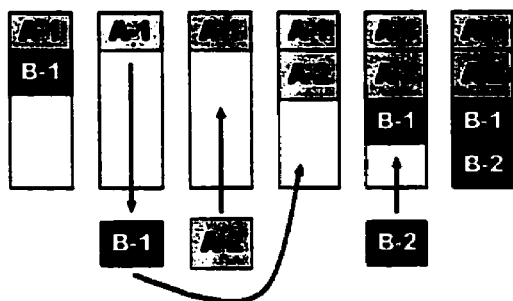
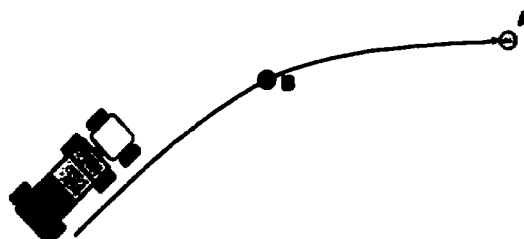
Figure 3.6 Chargement consolidé²

Figure 3.7 Route prise par le chargement

La palettisation représente un coût supplémentaire dans le processus, qui doit être moindre que l'économie du transport. Nous ne tenons pas compte de la consolidation dans nos solutions car, en général, la consolidation diminuera toutes les solutions du même montant. Nous réalisons qu'il peut y avoir des cas où ce n'est pas vrai, mais nous avons jugé que cette simplification était nécessaire pour la bonne résolution du problème.

La collecte après livraison (« backhaul ») est une pratique courante dans l'entreprise étudiée. Nous estimons que cette simplification est aussi nécessaire pour faciliter la résolution. De plus, nous croyons que la collecte après livraison devrait aussi diminuer toutes les solutions du même montant. Il est important de noter que le choix d'un scénario de transport qui privilégie la bonne coordination entre les livraisons et les collectes pourrait augmenter davantage les économies pour l'entreprise étudiée. Malgré cette simplification, l'entreprise pourrait en tenir compte lors de l'étape d'analyse, dans les facteurs non-quantifiables.

²Deux clients (A,B), deux entrepôts (1,2), la commande B-1 doit être palettisée pour faciliter la manipulation additionnelle

3.5.5 Ignorer les engagements envers certains clients

Actuellement, l'entreprise a plusieurs engagements envers certains clients. Elle peut s'engager à placer le client sur l'arrière ou l'avant de la remorque, ou de toujours mettre les deux mêmes clients ensemble. Ces engagements peuvent être nombreux et très difficiles à modéliser. Pour les fins de cette étude, nous avons ignoré les engagements qui ne sont pas applicables à tous les clients.

3.5.6 Ignorer les effets d'une complexité de coordination accrue

Dans la situation actuelle, un gros client peut recevoir une dizaine de livraisons par semaine durant les périodes de pointe. On peut imaginer qu'avec l'expansion du réseau et l'augmentation du nombre d'entrepôts, ce nombre de livraisons hebdomadaires pourrait croître, même si le volume total reçu stagne ou croît doucement. La coordination de ces livraisons deviendrait de plus en plus difficile, puisque l'on doit respecter les heures de réception et la capacité de réception du client. Nous posons l'hypothèse que tant que la solution proposée n'est pas plus contraignante que la solution actuelle, l'entreprise serait en mesure de trouver une bonne solution, malgré la complexité accrue. Par exemple, à l'occasion, elle pourrait obliger un client à recevoir des livraisons en dehors de ses heures normales.

3.6 Conclusion

La coordination du produit à l'intérieur des CD ainsi que l'horaire des portes d'expédition ne sont pas étudiés dans le cadre de ce projet. Il est assumé que ceci sera fait séparément, de façon à permettre la bonne opération de la solution adoptée.

Notre rôle est de fournir à l'entreprise une analyse qui lui permettrait de développer un plan de transport respectant certaines exigences. Ces exigences concernent la réception par le client d'au moins une livraison par semaine et la planification des livraisons qui ne doivent

pas être en conflit à la réception chez le client. La comparaison relative des neuf scénarios permet à l'entreprise de développer son plan de transport pour tous ses clients en fonction des différents éléments présents dans chaque région et à chaque période. Ceci implique que le plan de transport n'est pas nécessairement le même pour tous les clients. Dans le prochain chapitre, nous allons élaborer notre méthode de résolution nous permettant de comparer les scénarios, et présenter une analyse approfondie des résultats.

CHAPITRE IV

MÉTHODE DE RÉOLUTION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Ce chapitre présente une méthode de résolution qui nous permettra de comparer différents scénarios que nous allons présenter. Nous commençons par l'étude des tournées actuelles et une explication de la nécessité d'un algorithme rapide, suivi d'une section sur la modélisation des caractéristiques du problème. Par la suite, nous discutons du problème de mise en contenants (« Bin Packing ») dans la littérature avant de proposer un algorithme basé sur ces idées pour résoudre notre problème. Pour chaque scénario, nous présentons une description du scénario suivie d'une analyse des résultats correspondants et finalement, une analyse générale de tous les scénarios.

4.1 Étude des tournées actuelles

Indépendamment du mode de transport choisi, toute commande est transportée dans une remorque. En étudiant le réseau actuel, nous pouvons constater que les économies réalisables par remorque s'énumèrent de la façon suivante (par ordre d'importance):

1. Remplir l'espace vide dans une remorque dont la destination finale est une sous-région dans une région éloignée du centre de distribution (une sous-région étant un client ou un groupe de clients pour lesquels la distance qui les sépare d'une ville majeure est importante - voir figure 4.1),
2. Remplir l'espace vide dans une remorque dont la destination finale est une ville majeure dans une région éloignée du centre de distribution,
3. Remplir l'espace vide dans une remorque dont la destination finale est une sous-région dans une région proche du centre de distribution,

4. Remplir l'espace vide dans une remorque dont la destination finale est une ville majeure dans une région proche du centre de distribution,
5. Remplir l'espace vide dans une remorque dont la destination finale est dans la même région que le centre de distribution (s'il y a lieu).

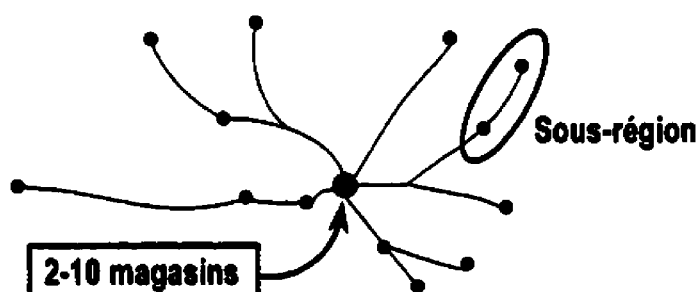


Figure 4.1 Composition d'une région

Nous faisons la différence entre une région éloignée et une région proche par le mode de transport utilisé pour s'y rendre. Lorsque nous nous déplaçons jusqu'à une région éloignée, la première partie du transport se fait par chemin de fer. Par la suite, les livraisons sont faites par la route à partir de la gare. Lorsque les distances à couvrir sont moins grandes, la tournée est faite entièrement par la route, à partir du centre de distribution.

D'après la liste précédente, nous constatons qu'il est très intéressant d'étudier les régions éloignées du centre de distribution (1. et 2.) car elles sont une source potentielle d'économies de transport importantes. En effet, nous allons nous concentrer premièrement sur ces régions. Le coût d'une tournée ayant comme destination finale un client dans une région éloignée du centre de distribution peut être décomposé en deux parties : le coût du déplacement du centre de distribution vers la gare d'une ville majeure de la région éloignée ainsi que le coût de la tournée dans la région. Le premier coût, associé à l'utilisation du train, peut souvent représenter 75 % ou plus du coût total de la tournée. Le deuxième coût

représente les coûts de camionnage, et inclut le taux horaire du chauffeur, le coût de l'essence et des péages à payer sur les routes choisies. Dans le cas d'une région proche du centre de distribution desservie par le réseau routier, tel que décrit dans les trois derniers points de la liste des économies présentée ci-dessus, le coût représente simplement les coûts de camionnage. De plus, dans les deux cas, l'entreprise subit un coût fixe pour chaque arrêt que le chauffeur doit effectuer après le premier sur chaque tournée.

Nous nous donnons comme objectif de minimiser le coût total du transport pour chaque scénario étudié. Ce coût est une fonction de la distance totale parcourue dans la solution proposée et du nombre d'arrêts effectués. Le coût fixe associé à un arrêt est très faible comparé au coût total de la tournée (moins de 5%) dans ces régions éloignées, mais peut représenter jusqu'à 20% du coût total pour les régions proches.

Une particularité de la géographie canadienne est que généralement, les villes et villages du pays se situent sur des « rayons » sortant des villes majeures (voir la figure 4.1.), à l'exception des régions très peuplées comme le sud de l'Ontario et le sud du Québec. Les clients et les routes forment un réseau radial, appelé « hub and spoke » en anglais. En général, on ne veut jamais affecter ensemble deux villes de deux rayons différents sur la même remorque. Ceci est lié à l'état des routes transversales du réseau, celles-ci étant bien souvent mal entretenues ou soumises à des limitations de charges. Par conséquent, le conducteur doit repasser par la ville majeure pour pouvoir distribuer aux autres clients (figure 4.2.). Toutefois, il pourra prendre des routes alternatives (figure 4.3.), lorsqu'il n'excède pas la limite de poids, tout en subissant un coût additionnel.

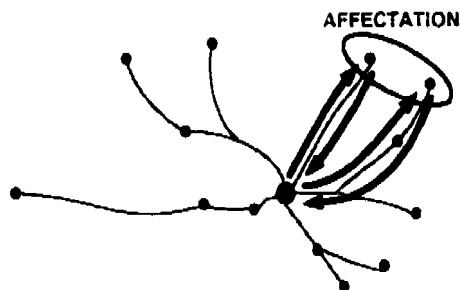


Figure 4.2

Visiter deux clients non-liés par une route principale - passer par la ville majeure

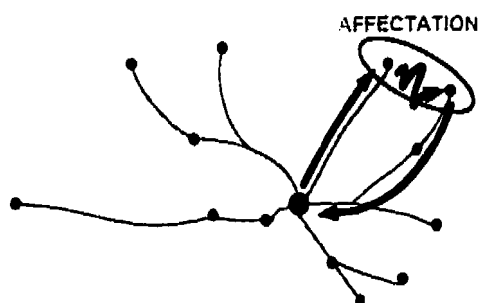


Figure 4.3

Visiter deux clients non-liés par une route principale - passer par une route secondaire

Donc, nous voudrions intégrer cette interdiction de mettre ensemble des villes sur des rayons différents dans un algorithme d'approximation des coûts de transport.

4.2 Caractéristiques de l'algorithme

Le but de l'étude est de fournir une analyse qui permettrait à l'entreprise de choisir le degré de flexibilité désiré dans le réseau. Dans le chapitre précédent, nous avons discuté de l'importance d'avoir un algorithme qui donne des résultats rapides. Nous avons aussi mentionné que la précision des résultats est moins importante que les résultats relatifs de chaque scénario, en raison de la nature stratégique de l'étude. Par exemple, cette étude pourrait aider l'entreprise à prendre des décisions au sujet de l'affectation des commandes aux jours de la semaine, mais la décision d'expédier une commande d'un client spécifique

sur une journée spécifique n'est pas prise dans le cadre de cette étude. Lors de l'étape d'implantation, ce dernier processus serait fait par le planificateur à l'aide du logiciel de tournées de véhicules déjà implanté dans l'entreprise.

Nous avons parlé des différentes méthodes de résolution de problèmes de distribution dans le chapitre 2, *Revue de la littérature*. Dans la majorité des cas, la résolution de problèmes réels est faite à l'aide d'algorithmes heuristiques. Pour obtenir la rapidité nécessaire pour pouvoir faire plusieurs évaluations, nous avons choisi d'utiliser un algorithme heuristique pour évaluer chaque scénario.

Plusieurs auteurs (Schrage, 1981; Ronen, 1988; Yano, 1987) énumèrent les difficultés rencontrées lors de la résolution de problèmes réels, et quelques-uns identifient les meilleures façons de les traiter.

Il est important d'apporter des solutions donnant suffisamment de flexibilité à l'entreprise lors de l'étape d'implantation. Si nous proposons une solution trop contraignante ou trop difficile à réaliser, les économies théoriques associées à cette solution pourraient être contrebalancées par une augmentation des coûts ailleurs. Par exemple, si la solution réalise une économie de 20000\$ en coûts de transport mais requiert l'embauche d'une personne additionnelle à 25000\$ par an dû à la complexité accrue, il est évident que la solution n'est pas meilleure que le statu quo. Nous ne présentons que des solutions qui ne sont pas plus contraignantes que la solution actuelle. De plus, nous sommes obligés de nous assurer que les solutions resteront applicables lors de l'agrandissement futur du réseau.

4.3 Le problème de mise en contenants dans la littérature

Typique de beaucoup de problèmes réels, le coût de livraison se décompose en deux parties : le coût pour se rendre à la région de livraison et le coût de la tournée dans celle-ci. Pour les régions éloignées, il est évident que le premier coût est beaucoup plus élevé que le deuxième. De ce fait, il est plus avantageux de remplir les remorques à pleine capacité,

même si, dans une certaine mesure, ceci augmente la distance totale des tournées. Pour les régions rapprochées, c'est le contraire et donc, nous voulons créer les meilleures tournées possibles, même si les remorques ne sont pas nécessairement pleines. Dans le premier cas, on identifie les caractéristiques d'un problème de mise en contenants (Bin packing - BP) classique, et dans le deuxième, celles des problèmes de tournées de véhicules (TV) classiques, discutés dans le chapitre 2. Nous allons maintenant présenter un résumé des recherches sur le problème de BP se retrouvant dans la littérature.

Une version très connue du problème de BP classique peut être définie comme suit :

Étant donné un entier positif, C (capacité d'un véhicule) et un ensemble $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ de n objets (commandes), chacun ayant une dimension s_i ($i=1, 2, \dots, n$) où $0 \leq s_i \leq C$ et $i \in I$, le problème de mise en contenants (BP) est de trouver l'entier le plus petit, m , tel qu'il existe une partition $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ de l'ensemble I où la somme des dimensions des objets dans chaque B_j n'excède pas C , c'est-à-dire, trouver un nombre minimum de véhicules pour contenir tous les objets.

Le problème de BP est NP-difficile et ne peut donc pas être résolu dans un temps de résolution borné par une fonction polynomiale de la taille du problème (voir Karp, 1972).

Étant donné la difficulté de résolution du problème de BP, la plupart des chercheurs dans ce domaine se sont concentrés sur l'analyse et le développement de bonnes heuristiques, comme pour les problèmes de tournées de véhicules. Les problèmes de BP peuvent être classifiés par dimension : une dimension (ex. poids ou section fixe), deux dimensions (ex. surface) et trois dimensions (ex. volume). Il est à noter que parfois des problèmes de plusieurs dimensions peuvent être ramenés à des problèmes d'une dimension. Par exemple, si nous représentons la capacité d'une remorque en mètres cubes et chaque commande par cette même mesure, le remplissage des remorques peut devenir un problème de BP

unidimensionnel. Pour les problèmes d'une dimension, plusieurs heuristiques sont très populaires pour leur simplicité de résolution, comme :

- *Next-Fit* (NF) : les contenants sont remplis un à la fois. Lorsqu'un objet ne peut être inséré dans le contenant actuel, on commence à remplir un nouveau contenant.
- *First-Fit* (FF) : les objets sont insérés successivement dans le premier contenant où l'insertion est possible.
- *Best-Fit* (BF) : les objets sont insérés successivement dans le contenant le plus rempli où l'insertion est possible.
- *First-Fit-Decreasing* (FFD) : même chose que FF, sauf que les objets sont a priori triés en ordre décroissant de dimension.
- *Best-Fit-Decreasing* (BFD) : même chose que BF, sauf que les objets sont a priori triés en ordre décroissant de dimension.
- *Worst-Fit* (WF) : les objets sont insérés successivement dans le contenant le moins rempli où l'insertion est possible.

L'évaluation probabiliste des cinq premiers algorithmes présentés ici se trouve dans l'article de Ong, Magazine, et Wee (1984). L'analyse des performances « pire-cas » de tous ces algorithmes se trouve dans l'article synthèse de Coffman, Garey et Johnson (1984). De nombreux autres algorithmes approximatifs sont énumérés dans ce même article. Pour la résolution exacte du problème, on peut consulter l'article de Martello et Toth (1990).

Quelques auteurs se sont attaqués au problème de BP lorsque l'on veut imposer un ordre partiel sur la liste d'objets. Cet ordre partiel est défini par une autre liste où plusieurs objets, ou tâches, ont des relations de priorité avec d'autres objets. Par exemple, la relation $s_i < s_j$,

oblige que la tâche s_i soit commencée avant que la tâche s_j soit commencée. Lorsque l'ordre partiel s'applique à deux objets, ceux-ci ne peuvent pas être affectés aux contenants de n'importe quelle façon. On doit respecter l'ordre décrit en s'assurant que le premier objet dans la liste se trouve dans un contenant ayant un indice plus petit que l'indice du contenant où l'on place le deuxième. Deux applications ont été étudiées dans la littérature, dont l'ordonnement des tâches de multiprocesseurs (Garey et al., 1976) et l'équilibrage d'une ligne d'assemblage (Wee et Magazine, 1982). Dans le cas du problème d'ordonnement des tâches, s_i doit être affecté à un contenant (machine) dont l'indice est plus petit que celui du contenant auquel s_j est affecté afin d'éviter des conflits sur les machines. Le problème d'équilibrage de ligne consiste à affecter les tâches d'assemblage à des « groupes » à peu près égaux afin de permettre à chaque opérateur de pouvoir toujours effectuer la même série de tâches. Dans le cas du problème d'équilibrage, s_i peut être affecté à un contenant (groupe de tâches) dont l'indice est plus petit *ou égal* à l'indice du contenant auquel s_j est affecté. Ceci est dû au fait que lorsque deux tâches sont effectuées dans le même groupe, on peut quand même respecter les relations de priorité. Il est intéressant de noter que ces deux variations donnent des résultats différents. L'article de Wee et Magazine (1982) présente une comparaison des deux approches.

Nous n'avons pas trouvé de publications traitant de l'interdiction de mettre certains objets ensemble.

L'article de Hall (1989) est la seule publication trouvée où les problèmes de BP et de TV sont combinés pour créer un nouveau problème. Hall a relevé que le coût de transporter un ensemble de chargements d'une origine vers plusieurs destinations dépend de deux facteurs:

- (i) le nombre de tournées;
- (ii) la longueur moyenne des tournées (distance).

Il a ajouté qu'en diminuant l'un ou l'autre, nous réduisons la longueur totale de l'ensemble des tournées et donc, le coût total de la solution. Dans son article, il cherche un compromis entre les deux objectifs de minimiser la longueur moyenne des tournées et de minimiser le nombre de tournées. À l'aide des techniques d'approximation continue décrites dans la section 2.1.2.1.1, il construit une heuristique qu'il appelle « Best-Fit-Save-V » qui divise la région totale en zones a priori et charge les véhicules pour plusieurs destinations en simultanée. Il conclut que le meilleur équilibre entre le remplissage des véhicules et la longueur moyenne des tournées dépend de la racine carrée de la taille des régions et de la distance moyenne entre l'origine et les destinations, dans le cas où les destinations seraient distribuées de façon uniforme autour de l'origine.

Avec l'algorithme de Hall, on peut charger n'importe quel client avec n'importe quel autre dans la même région. Pour les régions lointaines de notre étude, nous ne pouvons appliquer cet algorithme car certaines combinaisons de clients peuvent augmenter le coût de transport à un tel niveau qu'il est plus économique d'envoyer une remorque supplémentaire. Si nous diminuons la taille des régions, il n'existe plus assez de combinaisons pour pouvoir bien remplir les remorques, considérant que nous ne pouvons pas diviser la commande pour un seul client parmi plusieurs remorques.

4.4 Développement d'un algorithme

Nous cherchons à créer un algorithme heuristique rapide et facile à programmer, qui minimise le nombre de remorques nécessaires, avec l'interdiction de mettre deux clients se retrouvant sur différents « rayons » ensemble dans la même remorque. De plus, il faut définir un ordre partiel dans la liste, représentant le fait qu'un client ne puisse être affecté à une tournée que lorsque toutes les villes se retrouvant plus loin sur le même rayon sont déjà affectées. L'algorithme n'est utilisable que lorsque le réseau a la forme radiale (« hub and spoke »). Bien que cet algorithme soit moins bien adapté aux régions proches du centre de distribution, nous allons l'utiliser pour évaluer les régions proches ainsi que les régions

éloignées. Nous allons discuter de son adaptation aux différentes régions plus loin, dans la partie d'analyse des résultats généraux.

4.5 Les scénarios

Dans les prochains paragraphes, nous présentons les données utilisées dans l'étude ainsi que les mesures de performances qui seront utilisées pour comparer les résultats. Par la suite, nous expliquons chacun des neuf scénarios développés pour étudier le réseau de l'entreprise. Pour chaque scénario, nous décrivons les raisons pour lesquelles nous l'avons choisi, les détails de l'algorithme utilisé, les résultats numériques ainsi qu'une analyse des résultats.

4.5.1 Données

Pour cette étude, nous avons utilisé les volumes réels expédiés durant l'année 1999 à partir d'un des centres de distribution de l'entreprise. Ces volumes sont mesurés en pieds cubes ($1 \text{ pi}^3 = 0,028 \text{ m}^3$). Nous utilisons le volume, car la plupart du temps, l'entreprise atteint la limite de volume avant d'atteindre la limite de poids d'une remorque. Pour les capacités de remorques, nous utilisons des chiffres qui nous ont été fournis par les travailleurs de l'entrepôt, basé sur leur expérience personnelle. Bien que la capacité d'une remorque varie selon ce qu'elle contient, nous utilisons ces chiffres afin de respecter les pratiques actuelles de l'entreprise.

Nous avons étudié trois régions à différentes distances du centre de distribution. La capacité de la remorque utilisée ainsi que le coût par arrêt peuvent varier pour les trois régions. La majeure partie des tests se fait sur une période de 11 semaines, mais quelques-uns se font sur une période de 52 semaines.

Les deux premières régions étudiées, régions 1 et 2, se situent loin du centre de distribution et leurs clients se situent très clairement sur des rayons sortant de la ville majeure, ainsi que

dans la ville majeure, comme nous voyons dans la figure 4.1. Dans ces régions, la distribution est faite par chemin de fer et par le réseau routier, tel que décrit dans la section 3.3. Tel que déjà mentionné, le coût par arrêt par rapport au coût total de la tournée dans ces régions est généralement moins de 5%.

Dans la troisième région, les clients sont plus nombreux et leur distribution sur la région est plus dense que dans les autres régions. De plus, la taille moyenne des clients de cette région, mesurée en volume de commandes annuel, est supérieure à celle des clients des deux autres régions. Il est plus difficile de distinguer la forme radiale dans cette région, mais cela reste possible. Ces clients sont desservis entièrement par le réseau routier directement à partir du centre de distribution. Le coût par arrêt par rapport au coût total de la tournée pour cette région est autour de 10%.

La capacité des remorques destinées à la région 1 est plus élevée que celles des remorques destinées à la région 3, qui est elle aussi, plus élevée que la capacité de celles destinées à la région 2.

Nous étudions aussi la région 1 élargie qui inclut deux clients de plus, se retrouvant loin de la ville majeure. L'objectif de l'ajout de ces deux clients est d'étudier l'impact de la modification de la taille de la région sur la valeur de la solution. Nous discutons des résultats dans la section 4.6.

Pour toutes les régions étudiées, le nombre moyen d'arrêts par tournée dans la situation actuelle est entre 1 (un) et 3 (trois).

4.5.2 Mesures

Les mesures que nous utilisons pour analyser chaque scénario sont le coût total de transport (\$), le volume moyen par remorque (π^3), le nombre moyen d'arrêts par tournée, le coût moyen par volume (\$/ π^3) et les économies réalisées par rapport à la situation actuelle (%).

Certains résultats n'apparaissent pas dans ce mémoire pour respecter la confidentialité de l'entreprise.

4.5.3 Scénario A – Statu quo

Le scénario A représente la situation actuelle. Le réseau est a priori divisé en régions géographiques et chacune de ces régions est traitée séparément. Ce traitement a lieu une fois par semaine, donc toutes les commandes reçues depuis une semaine doivent se retrouver dans les remorques planifiées. On ne peut pas séparer les commandes destinées à un même client parmi plusieurs remorques. Ceci permet d'éviter que plusieurs remorques n'arrivent chez le client en même temps pour le déchargement.

Pour une région donnée, le planificateur détermine, à l'aide d'un logiciel d'optimisation, les meilleures tournées possibles, sous certaines contraintes de répartition. Par exemple, nous pouvons vouloir mettre un certain client à l'avant de la remorque lorsque l'on doit laisser la remorque chez le client jusqu'à sa prochaine livraison. Néanmoins, dans notre étude, nous avons ignoré la majorité des contraintes de répartition afin de simplifier le problème.

Notre algorithme de mise en contenants a été développé pour faire une approximation des résultats du logiciel d'optimisation, sans tenir compte des contraintes de répartition. Nous avons tout de même pris en compte que les commandes d'un client ne peuvent se retrouver dans plusieurs remorques, et que chaque client reçoit au moins une livraison par semaine.

Il est nécessaire de souligner que nous n'essayons pas de trouver le meilleur algorithme possible pour affecter les commandes aux remorques. Il est plus important que l'algorithme donne des résultats qui s'approchent des résultats réels du logiciel. De cette façon, nous pouvons juger de l'ampleur des économies possibles par rapport à la situation actuelle, et non pas la situation idéale (qui serait très probablement non-atteignable).

4.5.3.1 L'algorithme mise en contenants radial

Les clients se retrouvant sur la même route/autoroute en sortant de la ville centrale sont regroupés dans la même sous-région. Dans la figure 4.4, on peut voir un exemple de division d'une région en sous-régions.

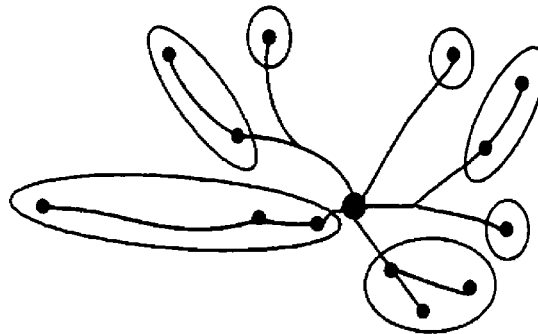


Figure 4.4 Division de la région en sous-régions

L'algorithme créé pour résoudre le scénario A, nommé mise en contenants radial (BPR), se retrouve en forme de pseudo-code à l'annexe I. En résumé, nous prenons chaque sous-région, une à la fois, et nous affectons les clients aux remorques (tournées) en débutant avec le client le plus éloigné sur le rayon et en terminant avec le client le plus proche. Lorsque nous affectons un client à une remorque, nous choisissons la remorque avec le moins d'espace disponible mais où la commande peut être ajoutée sans dépasser la capacité de la remorque. Lorsque ceci n'est pas possible, une nouvelle tournée est commencée. Ceci est effectivement l'algorithme du « Best Fit » décrit dans la section 4.3 ci-dessus. Cet algorithme a été choisi basé sur sa bonne performance et sa facilité d'adaptation à ce problème. Après cette étape, nous avons plusieurs remorques partiellement remplies, chacune ne contenant que les clients provenant d'une seule sous-région. La prochaine étape est de remplir l'espace disponible dans ces remorques avec les commandes allant aux clients dans la ville centrale. La région centrale comprend uniquement les clients se retrouvant dans la ville centrale (majeure) où la gare se situe pour les clients de la région

entière. Cette fois nous utilisons l'algorithme du « Best Fit Decreasing », avec la possibilité d'affecter les commandes de la ville centrale à n'importe quelle remorque. Encore une fois, cet algorithme a été utilisé grâce à son efficacité prouvée dans la littérature. La raison pour ceci est que toutes les remorques doivent passer par la ville centrale pour livrer aux clients, alors il n'y a pas d'interdiction de mettre ces clients avec d'autres.

Lorsque la commande pour un client dépasse la capacité d'une remorque, l'équivalent d'une remorque est enlevé des données. Donc nous nous retrouvons avec une commande de plus petite taille à expédier avec les autres clients de la même région. Cette commande est traitée de la même façon que les autres commandes. Le coût d'envoyer la remorque pleine est rajouté au coût total résultant de la résolution de l'algorithme. Ceci correspond à la pratique courante de planifier les remorques pleines séparément, comme décrit dans le chapitre intitulé *Description du problème*. Le processus est identique si la commande dépasse la capacité de deux remorques ou plus.

La programmation de l'algorithme a été faite dans une base de données Microsoft Access. Le langage de programmation est Visual Basic for Applications (VBA). L'algorithme a été validé avec deux semaines de données. Pour une région ayant une vingtaine de clients et au moins neuf routes par semaine, l'algorithme donne des résultats à $-1,1\%$ et $-0,3\%$ de la solution réelle fournie par le logiciel et le planificateur. Nous considérons que ces résultats sont excellents compte tenu que le problème est combinatoire. Il est à noter que notre but est de trouver un algorithme qui approxime les coûts de transport de la situation actuelle, et non pas de trouver les mêmes tournées que celle de la situation actuelle.

Nous présentons maintenant chacun des huit autres scénarios que nous avons créés et nous comparons chacun avec le scénario A, qui représente la situation actuelle. Nous ferons cette comparaison pour chacune des trois régions mentionnées dans la section précédente. Il est à noter que nous utilisons les mêmes données que le logiciel d'optimisation, mais étant donné la complexité du problème et un manque d'historique, nous ne pouvons pas comparer nos résultats directement avec ceux du logiciel dans la majorité des cas. Donc, tout résultat

sera présenté en pourcentage d'économie par rapport au scénario A. Le calcul est le suivant :
 Économie = $1 - (C_i / C_A)$ où C_i est le coût du scénario i et C_A est le coût de scénario A.

4.5.4 Développement des scénarios

Neuf scénarios ont été développés au total pour évaluer des façons alternatives de planifier les livraisons aux clients. Cette évaluation devrait guider l'entreprise dans son choix du meilleur plan de transport, qui serait idéalement une combinaison de différents scénarios selon la région et la période de l'année. Chaque scénario qui a été développé répond aux questions suivantes, pour chaque client :

1. Est-ce que le jour (ou les jours) de réception des livraisons varie d'une semaine à l'autre, et pendant quelles périodes?
2. Est-ce que la tournée sur laquelle il se trouve est fixe ou dynamique, et pendant quelles périodes?

Nous présentons ici un tableau qui résume les neuf scénarios développés pour cette étude. Dans les prochaines sections, nous expliquons chacun en détail avec les résultats et une analyse de ceux-ci.

Tableau 4.1 Scénarios avec date de livraison fixe (FIXE) ou dynamique (DYN)

Scénario	Sous-régions		Régions centrales	
	Période creuse	Période de pointe	Période creuse	Période de pointe
A	FIXE	FIXE	FIXE	FIXE
B	FIXE	DYN	FIXE	FIXE
C	FIXE-diff. jours	FIXE-diff. jours	DYN	DYN
D	FIXE-même jour	FIXE-même jour	DYN	DYN
E	FIXE	DYN	DYN	FIXE
F	FIXE	DYN	DYN	DYN
G	FIXE	FIXE	DYN	DYN
H	Tous les clients 1 de 2 jours possibles			
I	Tous les clients 1 ou 2 des 2 jours possibles			

Dans le tableau, nous avons introduit l'idée de périodes creuses et de périodes de pointe, en faisant référence aux différentes périodes de l'année. Lorsque nous sommes dans une période creuse, les volumes expédiés sont faibles. Durant les périodes de pointe, les volumes expédiés sont importants. La transition entre ces deux périodes n'est pas définitive et peut changer d'un scénario à l'autre. Dans le tableau 4.1, nous avons indiqué que la date de livraison ne change pas d'une semaine à l'autre pour la période donnée par le mot « FIXE ». Lorsque la date de livraison peut changer toutes les semaines, nous avons utilisé l'abréviation « DYN » pour dynamique. Dans le texte qui suit, les clients sur horaire dynamique seront appelés des client dynamiques et ceux sur horaire fixe seront appelés des clients fixes. Dans les prochaines sections, nous expliquons davantage les scénarios ainsi que les raisons pour lesquelles nous avons choisi de créer chacun d'eux. De plus, nous analysons les résultats relatifs à ceux du scénario A, correspondant au statu quo.

4.5.5 Scénario B

Le coût de livraison à une sous-région éloignée de la ville centrale est supérieur au coût de livraison de la même quantité de produits à la ville centrale. Étant donné ceci, remplir l'espace sur les remorques destinées aux sous-régions les plus éloignées de la région centrale peut représenter des économies importantes. Par conséquent, si nous pouvons trouver une façon d'éliminer cette perte d'espace, qui représente souvent entre 15 et 20% de la remorque, il serait logique que nous le fassions. Le but du scénario B est donc de valider cette logique. Nous cherchons des sous-régions qui, pour une période de l'année (pas nécessairement la même période pour toutes les sous-régions), représente un volume supérieur à l'équivalent d'une remorque. Nous enlevons ce volume et nous calculons le nombre de remorques qu'il représente. Physiquement ceci correspond à expédier une remorque pleine à cette sous-région à une plus grande fréquence qu'une fois par semaine. Par contre, la fréquence n'est pas fixe d'une semaine à l'autre. Pour les clients affectés, c'est un système de routes fixes et de dates de livraisons dynamiques.

Le choix des sous-régions à enlever n'est pas évident car un mauvais choix pourrait considérablement empirer les résultats. Dans notre cas, une à trois sous-régions par région étudiée seront dynamiques, chacune à partir d'un moment spécifique entre la troisième et la septième semaine des 11 semaines. Le moment choisi est le moment où le volume total dépasse la capacité d'une remorque et qu'il y demeure pendant plusieurs semaines. Dans tous les cas, les clients choisis restent dynamiques jusqu'à la fin de la période de 11 semaines, car les volumes expédiés le justifient. Le figure 4.5 est un graphique montrant le volume hebdomadaire pour une sous-région en particulier. Nous notons que pour deux périodes pendant l'année, le volume hebdomadaire dépasse la capacité d'une remorque pendant plusieurs semaines. Donc, nous enlevons ce volume du problème et nous calculons le coût de l'expédier séparément. En effet, nous cherchons des sous-régions comme ceci dans toutes les régions étudiées.

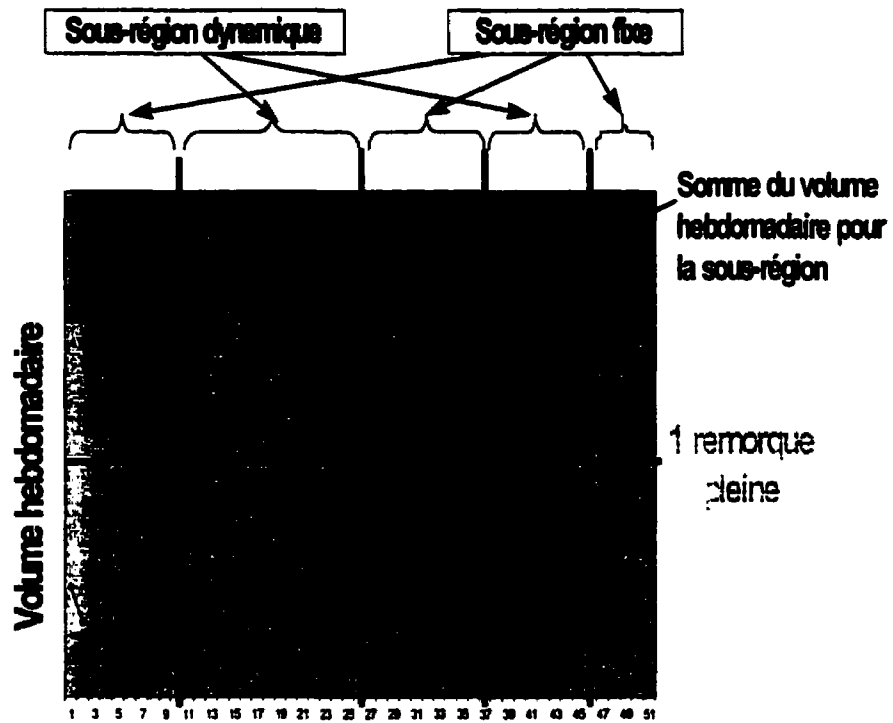


Figure 4.5 Exemple de volume hebdomadaire pour une sous-région

Nous calculons le coût total (CT) du scénario en faisant la somme du coût de l'envoi des remorques aux sous-régions dynamiques (C_{dyn}) et de celui des remorques des clients demeurant fixes (C_{fix}).

$$CT = C_{dyn} + C_{fix} \quad (1)$$

Le coût d'expédier les commandes des clients dynamiques est calculé de la façon suivante:

$$C_{dyn} = \sum_i \left\lceil \frac{V_i}{C} \right\rceil \cdot S_i \quad (2)$$

où V_i est le volume total pour la période pour la sous-région i , C est la capacité d'une remorque et S_i est le coût de visiter tous les clients dans la sous-région i . S_i est égal au coût de se rendre au client le plus loin dans la sous-région plus le coût par arrêt fois le nombre d'autres clients se retrouvant dans la sous-région, tel qu'expliqué à la section 3.3. S_i est constant pour la sous-région car chaque remorque visite tous les clients de la sous-région. Notons l'utilisation du symbole $\lceil \cdot \rceil$ pour indiquer que la fraction est arrondie à l'entier supérieur.

Par la suite, nous affectons les commandes restantes aux remorques avec le même algorithme que pour le scénario A (voir l'Annexe I) pour trouver C_{fix} . Donc, durant les périodes où il n'y a aucune sous-région sur horaire dynamique, les tournées sont identiques à celles du scénario A. Pour ces clients, nous enlevons l'équivalent d'une remorque pleine lorsque la commande dépasse la capacité de la remorque de la même façon que pour le scénario A.

Il est important de noter que ce scénario ne respecte pas l'exigence de l'entreprise de pouvoir aviser le client de leur livraison, ainsi que sa composition, au moins sept jours à l'avance. Ceci est dû au fait que l'entreprise ne veut jamais faire attendre une remorque au centre de distribution une fois qu'elle est remplie, car ceci engendre des coûts supplémentaires. Par contre, si la sous-région est éloignée du centre de distribution, c'est-à-dire correspondant à un délai de livraison de plus de sept jours, nous pouvons respecter cette exigence.

4.5.5.1 Résultats et analyse du scénario B

Tableau 4.2 Résultats du scénario B

RÉGION 1	0,05 %
RÉGION 1 (ÉLARGIE)	-1,18 %
RÉGION 2	1,22 %
RÉGION 3	-1,07 %

Dans le tableau 4.2, nous remarquons des économies faibles et même négatives par rapport à la situation actuelle. En effet, nous ne pouvons pas conclure qu'en enlevant du problème les commandes destinées aux sous-régions, nous améliorons la situation. La raison pour laquelle nous ne faisons pas d'économies dans cette situation est que le nombre de remorques éliminées est compensé par une augmentation importante du nombre d'arrêts. Par exemple, dans la région 1, il faut que le nombre d'arrêts augmente d'environ 15 pour que les bénéfices correspondant à l'économie d'une remorque soit annulés. Pour ce scénario, cela a été effectivement le cas.

De plus, ce scénario n'est pas nécessairement bon pour les clients car ce sont les plus petits clients loin de la ville centrale qui sont affectés. Les petits clients sont justement ceux qui ont le plus de difficulté à gérer des livraisons dynamiques, à cause des problèmes de main-d'oeuvre, de capacité de réception, etc.

4.5.6 Scénario C

Le scénario C implique que les sous-régions sont sur un horaire fixe et que les clients de la ville centrale sont dynamiques. Les différentes sous-régions ne sont pas nécessairement affectées au même jour. Nous expliquons la logique de ce scénario avec un exemple très simple.

Prenons une région ayant trois sous-régions et une ville centrale avec un magasin. Dans la situation actuelle, représentée par le scénario A (figure 4.6), les deux remorques pleines destinées au client dans la ville centrale sont envoyées seules. Par la suite, les meilleures tournées possibles sont construites pour chacune des sous-régions séparément. Dans la situation 2 (figure 4.7), représentant le scénario C, les commandes pour le magasin dans la ville centrale sont redistribuées pour remplir l'espace vide dans les remorques destinées aux sous-régions.

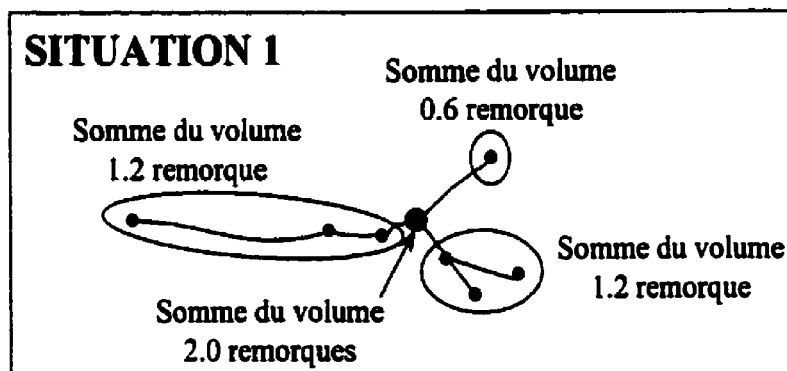


Figure 4.6 Distribution des commandes : situation actuelle

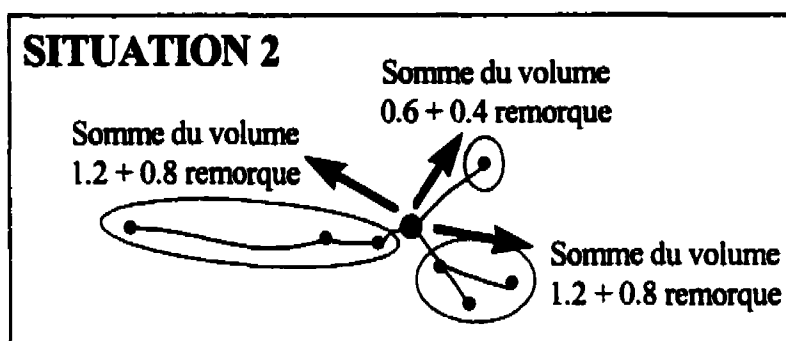


Figure 4.7 Distribution des commandes : situation proposée

Tableau 4.3 Comparaison des situations 1 et 2

	SITUATION 1	SITUATION 2
Nombre de remorques	7	5
Nombre d'arrêts	10	11

Nous voyons dans le tableau 4.3 qu'en passant de la situation 1 à la situation 2, nous éliminons deux remorques. En revanche, le nombre d'arrêts augmente d'un et le coût total de transport augmente légèrement. Bien que cet exemple soit peut-être trop simplifié, il montre qu'il existe des opportunités pour réduire le nombre de remorques requises, ce qui est particulièrement intéressant dans les régions 1 et 2, où l'on sait que le coût par arrêt représente généralement moins de 5 % du coût de la tournée.

Néanmoins, dans la situation 2, si toutes les livraisons s'effectuent le même jour, nous aurons des conflits à la réception chez le client de la ville centrale. Il suffit de fixer la date de livraison de chacune des sous-régions pour un jour différent dans la semaine pour éviter tout conflit de ce type (voir la figure 4.8).

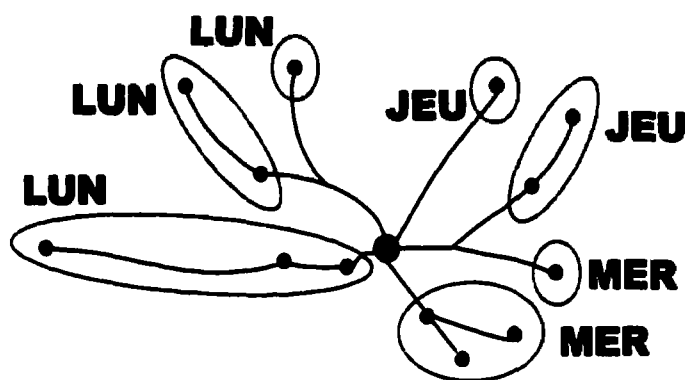


Figure 4.8 Affectation du jour de planification aux sous-régions

L'algorithme pour le scénario C se trouve en pseudo-code à l'annexe II. Il est basé sur l'algorithme de mise en contenants radial (BPR) décrit à la section 4.5.3.1, avec une modification pour redistribuer les commandes des clients dynamiques (qui se situent tous dans la ville centrale) aux autres remorques. Premièrement, nous choisissons quelques magasins de grande taille situés dans la ville centrale pour être les clients dynamiques. Nous le faisons car les grands magasins ont assez de volume pour pouvoir remplir l'espace dans les autres remorques, et même des remorques additionnelles. De plus, les grands magasins ont plus de facilité à s'adapter aux livraisons dynamiques car ils ont souvent une main-d'oeuvre plus importante, et donc plus flexible, ainsi qu'une capacité de réception supérieure aux autres magasins. Par la suite, nous divisons les sous-régions en trois groupes affectés respectivement aux jours lundi, mercredi et jeudi. Les magasins de plus petite taille dans la ville centrale sont aussi inclus dans un des ces groupes. Le choix des jours a été fait au hasard, mais ceci ne devrait pas avoir d'impact majeur sur les résultats.

Pour les clients dynamiques, nous nous donnons la contrainte de sept jours (cinq jours ouvrables) de délai maximal entre la commande et l'expédition des produits. Donc, si les commandes des magasins sont placées à 20% par jour, du lundi au vendredi, 40 % du volume hebdomadaire doit être expédié au plus tard le lundi, 40% le mercredi et 20% le jeudi dans une semaine typique. Prenons le 20% de produits qui doivent être expédiés au plus tard le jeudi. Ce volume a été commandé le jeudi d'avant et donc, peut être expédié

n'importe quand entre le vendredi avant et le jeudi concerné, et pas nécessairement ensemble.

Pour chaque jour de livraisons, l'algorithme du BPR est appliqué aux clients affectés à ce jour là de la même façon que pour le scénario A. À la fin de cette étape, nous avons une ou plusieurs remorques à remplir, et nous tentons de remplir l'espace vide de ces remorques avec des commandes des clients sur horaire dynamique. Nous distinguons le volume « obligatoire » du volume « facultatif ». Le volume obligatoire représente les commandes qui ont été placées sept jours avant et qui n'ont pas encore été livrées. Le volume facultatif représente les commandes qui ont été placées dans les 6 derniers jours. Il se peut qu'il n'y ait pas de volume obligatoire pour un client donné, mais il aura toujours du volume facultatif, composé au moins des commandes du jour d'avant.

L'algorithme est répété trois fois, une fois pour chaque jour de planification. Lorsque nous avons à remplir les remorques pour un jour donné, nous prenons les clients dynamiques ayant le plus de volume obligatoire et nous mettons ce volume dans les remorques les plus vides, l'un après l'autre. Ceci correspond à l'algorithme de mise en contenants intitulé Worst Fit Decreasing (voir la section 4.3). Par contre, nous l'avons modifié pour donner priorité aux remorques n'ayant pas déjà de commandes provenant d'un client sur horaire dynamique à bord. Ceci est pour augmenter la quantité de volume facultatif qui pourrait être expédiée, à la prochaine étape. Lorsque ce n'est pas possible d'affecter le volume obligatoire sur une remorque existante, il faut commencer une nouvelle tournée. Dans un des essais, nous avons utilisé du Best Fit Decreasing pour affecter les clients dynamiques, mais avec des résultats significativement inférieurs. Par conséquent, nous avons continué avec le Worst Fit Decreasing.

À la fin de l'étape précédente, les commandes provenant des clients fixes ainsi que les commandes « obligatoires » sont déjà affectées aux remorques. Il reste à affecter les commandes « facultatives » sur ces remorques. Pour cette partie de l'algorithme, nous prenons chacun des clients dynamiques ayant déjà des commandes sur une des remorques

et nous voyons si nous pouvons remplir de l'espace vide de cette remorque avec des commandes « facultatives ». Le client se trouve forcément sur une seule remorque afin d'éviter des conflits de livraison. Par la suite, nous prenons chacun des clients dynamiques n'ayant pas encore des commandes sur une des remorques et nous remplissons l'espace vide avec ces clients. Encore une fois, nous utilisons l'algorithme du Worst Fit Decreasing, mais nous ne donnons pas priorité à certaines remorques. Une chose importante à noter est que les clients dynamiques ayant seulement du volume facultatif ne seront affectés à une remorque que si l'espace disponible et le volume disponible sont d'au moins 300 pieds cubes. Ceci est dû au fait que le traitement d'un volume de moins de 300 pi.³ représente un coût de traitement dans l'entrepôt qui n'est pas justifié lorsque non-nécessaire.

Pour les clients fixes, nous enlevons l'équivalent d'une remorque pleine lorsque la commande dépasse la capacité de la remorque avant d'exécuter l'algorithme, de la même façon que pour le scénario A.

4.5.6.1 Résultats et analyse du scénario C

Tableau 4.4 Résultats du scénario C

RÉGION	RÉSULTAT
RÉGION 1	4,47 %
RÉGION 1 (ÉLARGIE)	6,47 %
RÉGION 2	11,17 %
RÉGION 3	-0,65 %

Nous remarquons que pour les régions 1 et 2, le scénario C est une amélioration significative par rapport au statu quo. De plus, à l'aide d'un logiciel d'optimisation, on suppose que les résultats seraient encore meilleurs. La différence significative entre la

région 1 et la région 2 est due au fait qu'il y a plus de clients dynamiques dans la région 1 par rapport au nombre de clients total dans la région 2. Par conséquent, nous pouvons voir qu'il est intéressant d'avoir le plus grand nombre de clients dynamiques possible.

Pour la région 3, les économies sont négatives par rapport à la situation actuelle. Ceci est dû au fait que le nombre d'arrêts augmente par rapport au scénario A. Il est intéressant de noter que le volume moyen par remorque a augmenté, mais du fait du plus grand nombre d'arrêts, le coût total a augmenté. En effet, dans les trois cas le nombre d'arrêts a augmenté d'entre 10 et 20%. Par contre, dans les régions 1 et 2, où le coût par arrêt est souvent inférieur à 5 % du coût de la tournée, les économies de coût de transport, grâce à la réduction du nombre de remorques, sont suffisamment importantes pour contrebalancer l'augmentation des coûts d'arrêts. Les résultats du scénario C sont encourageants car ils montrent qu'il est possible d'avoir de meilleurs résultats que la situation actuelle.

4.5.7 Scénario D

Le scénario D est similaire au scénario C, à l'exception du fait que toutes les sous-régions doivent être livrées dans la même journée. Par conséquent, les clients dynamiques ne peuvent être affectés qu'à une seule remorque contenant déjà des commandes destinées aux clients fixes. Néanmoins, nous pouvons affecter les commandes des clients dynamiques sur des remorques qui seront livrées un autre jour de la semaine.

Nous étudions ce scénario pour voir l'effet de livrer tous les clients fixes le même jour, mais nous nous attendons à ce que les résultats soient inférieurs à ceux du scénario C, puisqu'il reste moins de possibilité de combiner les commandes.

Les clients choisis pour être dynamiques pour le scénario D sont les mêmes que pour le scénario C. Les remorques contenant les commandes pour les clients fixes sont donc construites avec le même algorithme que celui appliqué pour chaque jour dans le scénario C. L'ajout des clients dynamiques est fait de la même façon, par ordre décroissant de

volume obligatoire. De plus, l'espace vide est rempli encore une fois avec le volume facultatif des clients déjà affectés en premier et avec la méthode du Worst Fit Decreasing par la suite, toujours en respectant la contrainte de 300 pi.³ minimum pour les clients ayant uniquement du volume facultatif. Nous respectons aussi les dates d'échéance définies pour le scénario C, c'est-à-dire un délai maximal de sept jours entre le moment de la commande et le moment de son affectation à une remorque.

Pour les clients fixes, nous enlevons l'équivalent d'une remorque pleine lorsque la commande dépasse la capacité de la remorque avant d'exécuter l'algorithme, de la même façon que pour le scénario A.

4.5.7.1 Résultats et analyse du scénario D

Tableau 4.5 Résultats du scénario D

RÉGION	Économies (%)
RÉGION 1	3,18 %
RÉGION 1 (ÉLARGIE)	5,34 %
RÉGION 2	11,22 %
RÉGION 3	0,45 %

Dans le tableau 4.5, nous remarquons que les économies pour les régions 1 et 1 (élargie) sont plus faibles que celles du scénario C, tel qu'attendu. Pour la région 2, les économies sont semblables, ceci étant dû au fait que la majorité du volume des clients dynamiques est utilisée pour remplir les remorques du premier jour de planification dans la semaine dans tous les cas.

Pour la région 3, le scénario D a de meilleures performances que le scénario C. Ceci est dû au fait que le nombre d'arrêts pour le scénario D est inférieur au nombre d'arrêts pour le C, même si c'est de très peu. Néanmoins, nous voyons que ce n'est pas une économie très importante par rapport à la situation actuelle.

4.5.8 Scénario E

Le scénario E est effectivement une combinaison des scénarios B et C. Durant les périodes creuses, le scénario C est utilisé, et durant les périodes de pointe, le scénario B est utilisé. Durant les périodes de volumes importants (périodes de pointe), ceci nous permet de s'assurer que les remorques livrant aux villes les plus chers à visiter sont toujours remplies à leur capacité. Durant les périodes de volumes faibles (périodes creuses), nous n'avons pas assez de volume pour justifier la livraison de ces clients séparément, alors plusieurs gros clients deviennent dynamiques pour remplir l'espace vide dans les remorques.

Les algorithmes utilisés sont les mêmes que pour les scénarios B et C. Le changement entre les deux scénarios est fait au moment où le volume hebdomadaire dépasse la capacité d'une remorque (voir la figure 4.5) pour une grande partie des sous-régions. Par exemple, pour la région 1, nous avons choisi de faire le changement après la semaine 6 des 11 semaines.

4.5.8.1 Résultats et analyse du scénario E

Tableau 4.6 Résultats du scénario E

RÉGION 1	1,28 %
RÉGION 1 (ÉLARGIE)	-0,83 %
RÉGION 2	6,77 %
RÉGION 3	-3,03 %

Pour les régions 1 et 2, le scénario E est meilleur que le scénario B, mais moins bon que le scénario C. Nous voyons les mêmes problèmes qu'avec le scénario B : une augmentation importante du nombre d'arrêts ainsi qu'une diminution des possibilités de combiner les commandes. Nous pouvons conclure qu'il est mieux d'avoir des clients dynamiques pendant les périodes creuses en plus des sous-régions dynamiques pendant les périodes de pointe plutôt que d'avoir seulement des sous-régions dynamiques. En effet, pour les régions éloignées, il est préférable d'avoir autant de flexibilité que possible.

Pour la région 3, ce scénario est encore moins économique que les scénarios B et C, et que la situation actuelle. Encore une fois, ceci est dû à l'augmentation du nombre d'arrêts. Donc, pour les régions desservies par le réseau routier, nous n'avons pas encore trouvé un scénario qui améliore significativement la solution.

4.5.9 Scénario F

Comme le scénario E, ce scénario est une combinaison des scénarios B et C. Donc, pendant les périodes de pointe les clients dans les sous-régions dynamiques sont livrés séparément

mais, contrairement au scénario E, les clients dynamiques restent dynamiques pendant les 11 semaines.

L'algorithme appliqué est celui du scénario C (à l'Annexe II), une fois que les sous-régions sont enlevées du problème pour les périodes de pointe. Leur coût est rajouté au coût total par la suite.

4.5.9.1 Résultats et analyse du scénario F

Tableau 4.7 Résultats du scénario F

RÉGION	Résultat
RÉGION 1	4,66 %
RÉGION 2	10,98 %
RÉGION 3	-1,47 %

Nous remarquons que pour la région 1, les résultats sont supérieurs à ceux du scénario C et du B. Ceci implique qu'avec de la flexibilité, nous pouvons enlever les sous-régions logiques du problème et atteindre de bons résultats. Par contre, il faudrait approfondir l'étude du problème, car la différence n'est pas très grande, et les sous-régions dynamiques peuvent causer des problèmes de respect des engagements envers les clients, tel qu'expliqué pour le scénario B. De plus, nous voyons que les résultats ne sont pas toujours meilleurs, comme on le voit avec la région 2.

Pour la région 3, des économies négatives se présentent comme pour les scénarios B et C. Ceci est toujours dû à l'augmentation du nombre d'arrêts total.

4.5.10 Scénario G

Le scénario G correspond exactement au scénario C avec plus de clients dynamiques. L'objectif de ce scénario est de juger l'impact de l'augmentation du nombre de clients dynamiques sur les économies réalisables. L'algorithme est identique à celui du scénario C. Nous nous attendons à ce que l'augmentation du nombre de clients dynamiques engendre une augmentation des économies.

4.5.10.1 Résultats et analyse du scénario G

Tableau 4.8 Résultats du scénario G

Tableau 4.8 Résultats du scénario G		
RÉGION 1	4,47 %	4,65 %
RÉGION 1 (ÉLARGIE)	6,47 %	6,60 %
RÉGION 2	11,17 %	9,84 %
RÉGION 3	-0,65 %	0,57 %

Nous remarquons que notre supposition est vérifiée dans toutes les régions sauf la région 2. Dans le scénario C, tous les clients de la ville centrale dans la région 2 sont dynamiques, à l'exception d'un. Par conséquent, pour le scénario G, ce client dynamique additionnel a eu pour effet de diminuer les économies. Ceci semble logique puisque nous utilisons des heuristiques pour résoudre un problème combinatoire. Les résultats pour la région 2 demeurent quand même excellents. En effet, l'ajout de clients dynamiques devrait toujours améliorer les résultats, si les algorithmes utilisés sont performants.

4.5.11 Scénario H & I

Le scénario H décrit la situation où tous les clients reçoivent une livraison par semaine, mais la date de livraison est choisie parmi deux jours possibles. Le scénario I est similaire, sauf que les clients peuvent recevoir une ou deux livraisons par semaine, mais encore uniquement pendant un des deux jours prédéfinis. Ces scénarios requièrent un logiciel d'optimisation, compte tenu de leur complexité de résolution. À cause de cette complexité, l'entreprise a décidé de ne pas entreprendre la résolution de ces deux scénarios sur logiciel. Nous croyons que ces scénarios auraient beaucoup de succès dans la région 3, mais il serait important de vérifier cette supposition avant l'implantation.

4.5.12 Bornes supérieures

Il est important de calculer des bornes supérieures sur les économies possibles pour chaque région, afin d'avoir une idée de l'ampleur de nos économies par rapport à ce qui est potentiellement atteignable. Nous avons calculé la borne supérieure de la façon suivante:

$$\sum_j \left(\frac{V_j}{C} \right) \cdot Q_j \quad (3)$$

où V_j est le volume total pour la période pour client j , C est la capacité d'une remorque et Q_j est le coût de transport pour visiter le client j avec cette remorque.

Il est à noter que nous n'avons pas arrondi le nombre de remorques vers l'entier supérieur puisque sur une longue période, l'arrondissement aurait peu d'impact. En effet, les chiffres dans le tableau 4.9 indique l'économie maximale, si chaque remorque ne contient que les commandes pour un client. Il est évident que ce n'est qu'une situation hypothétique, car

cela impliquerait qu'un client de petite taille attendrait plusieurs mois avant de recevoir ses livraisons.

Tableau 4.9 Bornes supérieures sur les résultats

RÉGION 1	29,85 %
RÉGION 1 (ÉLARGIE)	32,24 %
RÉGION 2	26,29 %
RÉGION 3	25,84 %

4.6 Analyse générale

Comparaison des scénarios

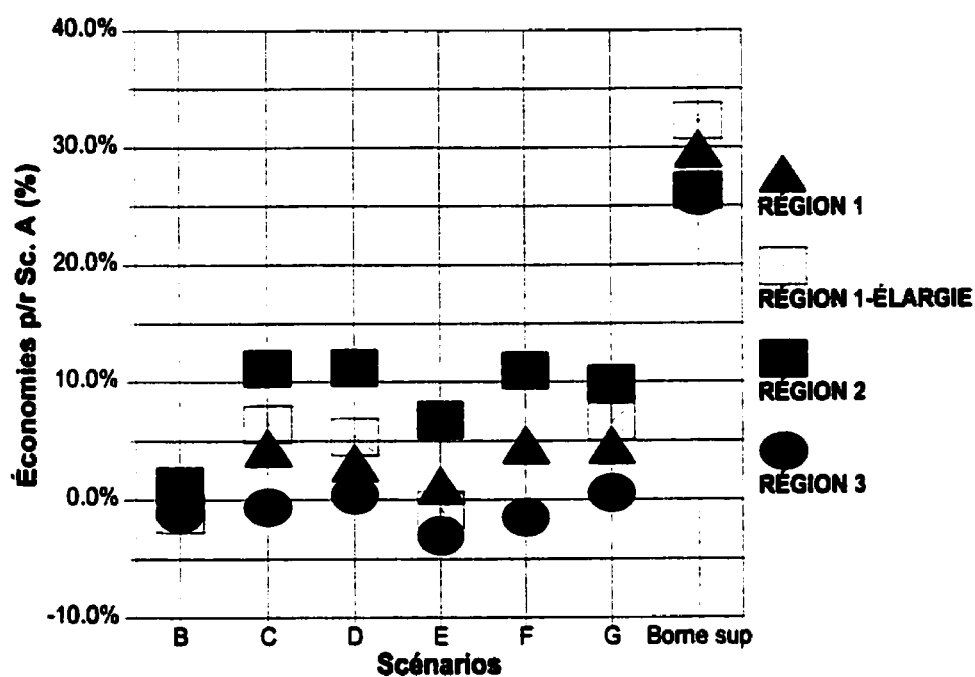


Figure 4.9 Comparaison graphique des scénarios

Tableau 4.10 Tableau des scénarios avec classement

Scénario	Sous-régions		Régions centrales		Classement	
	Période creuse	Période de pointe	Période creuse	Période de pointe	Chemin de fer	Route
A	FIXE	FIXE	FIXE	FIXE	-	-
B	FIXE	DYN	FIXE	FIXE	5	3
C	FIXE-diff. jours	FIXE-diff. jours	DYN	DYN	1	2
D	FIXE-même jour	FIXE-même jour	DYN	DYN	2	1
E	FIXE	DYN	DYN	FIXE	4	5
F	FIXE	DYN	DYN	DYN	3	4

Pour les régions qui sont desservies par chemin de fer, nous avons trouvé de bons résultats avec les scénarios C et D. Il est préférable d'utiliser le scénario C, mais le scénario D performe bien aussi lorsqu'on est obligé de livrer tous les clients fixes de la région le même jour. Pour la région 2, les économies de 11% indiquent que nous pourrions facilement diminuer les coûts de transport dans cette région en ajoutant quelques clients dynamiques. Même les économies avec le scénario D d'aussi peu que 3% pour la région 1 sont non-négligeables quand on considère la taille du problème de distribution. De plus, les économies réalisables pourraient augmenter davantage si nous utilisons un logiciel d'optimisation commercial, comme celui que nous trouvons dans l'entreprise.

Nous avons étudié la région élargie, ayant deux clients de plus que la région 1, afin de pouvoir juger l'impact d'augmenter le nombre de clients dans une région. Dans presque tous les cas (le scénario B étant l'exception), nous avons trouvé que le pourcentage d'économies a augmenté par rapport à la région 1 initiale. Ceci semble logique car dans la région élargie, il existe plus de façons de combiner les commandes dans les remorques, surtout lorsque nous avons des clients dynamiques.

Nous avons expliqué dans la section 4.3 que lorsque le coût par arrêt est relativement faible par rapport au coût total de la tournée (régions 1 et 2), le problème ressemble à un problème de mise en contenants. Lorsque c'est le contraire (région 3), le problème ressemble plus à un problème de tournée de véhicules. Dans le premier cas, l'objectif est de minimiser le nombre de remorques, et dans le deuxième cas, il est de minimiser la distance totale parcourue. Étant donnée que notre algorithme pour affecter les commandes aux remorques est basé sur l'algorithme de mise en contenants, il est logique qu'il performe mieux dans les régions 1 et 2 que dans la région 3, ce que nous avons effectivement trouvé. Par conséquent, il serait préférable d'utiliser un algorithme de tournées de véhicules pour résoudre le problème. Il est possible que les économies totales possibles soient moindres dans la région 3, étant donné le grand nombre de clients de différentes tailles qui s'y retrouvent. En effet, il se peut que la solution actuelle s'approche déjà de la meilleure solution atteignable en respectant les contraintes de répartition. De ce fait, les économies

sont plus difficiles à trouver et nous devons donc regarder d'autres options pour diminuer le coût total de la solution pour la région 3. Nous discuterons de ces options dans le chapitre suivant. Nous croyons que la flexibilité devrait augmenter les économies dans cette région aussi, mais il reste à le justifier avec des tests.

CHAPITRE V

CONCLUSION

Pour résoudre un problème du type de celui étudié dans ce document, il faut prendre une multitude de décisions. Peu importe l'ampleur de ces décisions, elles pourraient avoir un impact sur la solution finale. Ceci est dû en partie à l'aspect combinatoire du problème et en partie aux algorithmes choisis. À cause de ces multiples décisions, il faut être très prudent et donc éviter de généraliser sur l'application de ces algorithmes à différents problèmes. Par exemple, la création d'une sous-région dans une région, le nombre de clients dynamiques, la distribution des commandes sur les jours de la semaine, et le volume minimal pour expédier la commande d'un client dynamique sont toutes des décisions qui peuvent affecter les résultats. En effet, il est important de se rappeler que le but de cette étude est d'avoir une idée du classement des scénarios ainsi que les facteurs qui devraient influencer un gestionnaire dans le choix d'un par rapport à un autre.

L'entreprise devrait utiliser cette étude pour établir un plan de transport. Ce plan définit pour chaque région et pour chaque période, quelles méthodes doivent être utilisées pour construire les tournées. Dans certains cas, les méthodes seront basées sur les scénarios qui se trouvent dans cette étude. Quatre facteurs majeurs devraient nécessairement être pris en compte lorsque nous établissons le plan de transport. Ces facteurs sont 1) le coût par arrêt par rapport au coût moyen de la tournée, 2) la densité des clients dans la région, 3) la distance entre la région et le centre de distribution et 4) la distance moyenne des clients à partir de la ville centrale. Notre étude n'est pas assez approfondie pour définir des règles définitives sur le choix d'un scénario pour une situation spécifique, alors il est important que l'entreprise étudie chaque région individuellement pour établir la meilleure méthode. Par exemple, nous savons que dans une région où le coût par arrêt est faible comparé aux autres coûts de transport et que les villes sont relativement loin de la ville centrale, les économies sont de l'ordre de 5% avec le scénario C. D'autres facteurs, tels que le nombre de petits, moyen et grand magasins dans la région, la localisation des magasins dynamiques, et les volumes annuels expédiés à la région, devraient être également pris en compte lorsque

l'entreprise décide de modifier la planification des commandes pour une région. Notre étude est basée sur le fait que la majorité des régions au Canada démontrent la forme radiale (« hub and spoke ») centré sur les villes majeures. Lorsque cette forme spéciale ne correspond pas à la région étudiée, il faudrait faire des tests initiaux avant d'implanter un changement dans les méthodes de planification.

Pour les grandes régions dans laquelle nous pouvons décerner cette forme radiale et un coût par arrêt faible, nous savons que la flexibilité augmente les économies. Par conséquent, l'entreprise devrait essayer d'implanter le scénario C dans ces régions. De plus, nous trouvons que le scénario C donne de bons résultats sur tous les périodes. Pour les autres régions, il faudrait faire plus d'évaluations par informatique ou par essai. Nous croyons que ce n'est pas un grand risque d'essayer d'ajouter de la flexibilité directement dans les opérations quotidiennes sans avoir de preuve par informatique, car ça ne devrait jamais augmenter les coûts. Pour s'assurer de ceci, l'entreprise pourrait créer l'horaire deux fois – avec et sans la flexibilité. Notons que la situation sans flexibilité est effectivement un cas spécial de la situation avec la flexibilité. Par la suite, le planificateur pourrait choisir l'horaire au moindre coût. Normalement, le logiciel devrait proposer la situation sans flexibilité si elle est la situation la moins chère, mais ceci n'est pas garanti étant donné que le logiciel est basé sur des heuristiques.

Nous trouvons que les scénarios proposés n'ont pas donné de résultats suffisamment bons pour pouvoir décider d'un plan de transport pour les régions desservies par le réseau routier avec une haute densité de clients, telle que la région 3. Nous croyons néanmoins que la flexibilité augmentera les économies dans ces types de régions. Par contre, il se peut que les économies soient plus difficiles à trouver dans ces régions et que l'entreprise devrait regarder d'autres opportunités pour diminuer les coûts de transport. Lorsqu'il y a beaucoup de clients dans une région, il existe normalement des fournisseurs dans ces régions. Donc, une bonne coordination des livraisons aux clients et de la collecte d'un ou plusieurs fournisseurs peut augmenter davantage les économies. De plus, la flexibilité dans les

livraisons peut aider cette coordination et la combinaison des deux peut augmenter les économies plus élevées que la somme des économies individuellement.

Nous avons présenté l'analyse des résultats aux représentants de l'entreprise au cours de l'année 2000. Ils considèrent que cette recherche est suffisamment détaillée et concluante pour pouvoir effectuer des changements dans leurs opérations de distribution.

Dans ce mémoire, nous avons présenté une méthode pour analyser différents scénarios pour un problème très complexe. Grâce à sa rapidité de programmation et de calcul, notre méthode est très efficace pour estimer les coûts de transport pour certains problèmes de tournées de véhicules. Notre méthode inclut l'utilisation des algorithmes de mise en contenants traditionnel, adapté à notre cas.

La méthode présentée permettrait à une entreprise effectuant de la distribution au Canada de faire des choix critiques par rapport à ses livraisons, afin de diminuer ses coûts de transport. En raison de leur efficacité et de leur simplicité, nous croyons que les algorithmes développés pourraient être utilisés par d'autres entreprises qui veulent rapidement juger de l'impact d'un changement dans leur réseau sur leurs coûts de transport. L'application de ces algorithmes n'est pas nécessairement limitée à juger de l'impact d'ajouter de la flexibilité. Éventuellement, ils pourraient être utilisés pour localiser un centre de distribution ou pour déterminer quelles méthodes de transport seront meilleures pour desservir une certaine région.

Nous croyons qu'il serait possible d'appliquer des algorithmes de mise en contenants (Bin Packing) à d'autres problèmes de distribution lorsque nous avons besoin de minimiser le nombre de remorques/véhicules utilisés. Nous croyons que cette étude ne touche qu'à une partie de ce qui est possible. Nous espérons que d'autres études seront effectuées sur le sujet qui pourront déterminer les possibilités de l'application des algorithmes de mise en contenants dans le domaine de la distribution.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANILY, S. et FEDERGRUEN, A. (1990 Jan.). One warehouse multiple retailer systems with vehicle routing costs. Management Science, **36**, 92-114.

BAITA, F., UKOVICH, W., PESENTI, R., et FAVARETTO, D. (1998). Dynamic routing-and-inventory problems: A review. Transpn. Res. A, **32A**, 585-598.

BALL, M.O., MAGNANTI, T.L., MONMA, C.L. et NEMHAUSER, G.L., (1995). Network Routing. Vol. 8. Elsevier Publishers.

BALLOU, H.R. (1992). Business Logistics Management. Prentice-Hall, 3^e éd.

BERTAZZI, L., SPERANZA, M.G., et UKOVICH, W., (1997). Minimization of logistics costs with given frequencies. Transpn. Res. B, **31B**, 327-340.

BLUMENFELD, D.E., et BECKMANN, M.J., (1985). Use of continuous space modeling to estimate freight distribution costs. Transpn. Res. A, **19A**, 173-187.

BODIN, L.D., (1990 Jul-Aug.) Twenty years of routing and scheduling. Operations Res., **38**, 571-579.

BODIN, L.D., ROSENFELD, D.B., et KYDES, A.S., (1981). Scheduling and estimation techniques for transportation planning. Computers & Operations Research, **8**, 25-38.

BODIN, L.D., (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews, the state of the art. Special Issue, Computing and Operations Research, **10**, 63-211.

BODIN, L., et GOLDEN, B., (1981). Classification in vehicle routing and scheduling. Networks, 11, 97-108.

BROWN, G.G., ELLIS, C.J., GRAVES, G.W. et RONEN, D. (1987 Jan-Feb.). Real-Time, Wide Area Dispatch of Mobil Tank Trucks. Interfaces, 107-120.

BROWN, G.G. et GRAVES, G.W. (1981 Jan). Real-Time Dispatch of Petroleum Tank Trucks. Management Science, 27, 19-32.

CLARKE, G. et WRIGHT, J.W., (1973). Scheduling of Vehicles from a Control Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, 11, p. 568.

COFFMAN JR., E.G., GAREY M.R. et JOHNSON, D.S. (1984). Approximation Algorithms for Bin-Packing - An Updated Survey. Algorithm Design for Computer System Design, Auseillo, Lucertini, Springer, 49-106.

DAGANZO, C.F., et HALL, R.W. (1993). A routing model for pickups and deliveries: no capacity restriction on secondary items. Transpn. Sci., 27, 315-329.

DAGANZO, C.F. (1991). Logistics systems analysis, Springer.

DANTZIG, G.B., et RAMSER, J.H. (1959). The truck dispatching problem. Management Science, 6, 80-91.

DEJAX, P.J. et CRAINIC, T.G. (1987). A review of empty flows & fleet management models in freight transportation. Transpn. Sci., 21, 221-247.

DESROCHERS, M. (1990). A classification scheme for routing and scheduling problems. European Journal of Operations Research, 46, 322-332.

EIBL, P.G., MACKENZIE, R., et KIDNER, D.B. (1994). Vehicle routing and scheduling in the brewing industry: A case study. International journal of physical distribution, 24, 27.

ERNST & YOUNG (1998). The Supply Chain Advantage: Driving Vision to Value. p.6.

EVERITT, P.G. et PINKNEY, A.J. (1999). Cane transport scheduling: an integrated system. International Sugar Journal, 101, 208-210.

FARVOLDEN, J.M., LAPORTE, G. et XU, J. (1993 Mars). Solving an Inventory Allocation and Routing Problem Arising in Grocery Distribution. Centre de recherche sur les transports - CRT-886.

FERRELL, M.D. (1992). History, development, and scope of industrial engineering. Maynard's Industrial Engineering Handbook, 4^e éd, p 1.9.

FISHER, M.L. et JAIKUMAR, R. (1981). A generalized assignment heuristic for vehicle routing. Networks, 11, 109-124.

FISHER, M.L., GREENFIELD, A.J., JAIKUMAR, R. et LESTER III, J.T. (1982 Aug.). A Computerized Vehicle Routing Application. Interfaces, 12, 42-49.

FREDERICKSON, G.N., HECHT, M.S., et KIM, C.E. (1978). Approximation algorithms for some routing problems. Siam J. of Computing, 7, 178-193.

GAREY, M.R., GRAHAM, R.L., JOHNSON, D.S. et YAO, A.C. (1976). Resource constrained scheduling as generalized bin packing. J. Combinatorial Theory Ser. A, 21, 257-298.

GENDREAU, M., LAPORTE, G. et POTVIN, J-Y.(1999a). Metaheuristics for the vehicle routing problem. Cahiers du GERAD G-98-52.

- GENDREAU, M., GUERTIN, F., POTVIN, J-Y. et TAILLARD, É. (1999b Nov.). Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching. Transpn. Sci., 33, 381-390.
- HALL, R.W. (1989). Vehicle packing. Transpn. Res. B, 23B, 103-121.
- HALL, R.W. (1985). Determining vehicle dispatch frequency when shipping frequency differs among suppliers. Transpn. Res. B, 19, 421-431.
- HALL, R.W., DU, Y. et LIN, J. (1994). Use of continuous approximations within discrete algorithms for routing vehicles: Experimental results and interpretation. Networks, 24, 43-56.
- HALL, R.W. (1993). Properties of vehicle routes with variable shipment sizes in euclidean plane, Transpn. Res. Record, 1413, 122.
- HALL, R.W. et RACER, M. (1995). Transportation with common carrier and private fleets: system assignment and shipment frequency optimization. IIE Transactions, 27, 217-225.
- HALL, R.W. (1991). Characteristics of multi-stop/multi-terminal delivery routes, with backhauls and unique items. Transpn. Res. B, 25B, 391-403.
- HAMMER, P.L. (1969). Time-minimizing transportation problems. Naval Research Logistics Quarterly, 16, 345.
- HARRISON, H. (1979 Feb.). A Planning System for Facilities and Resources in Distribution Networks. Interfaces, 9, 6-22.
- JORDAN, W.C. et BURNS, L.D. (1984). Truck backhauling on two terminal networks. Transp. Res. B, 18B, 487-503.

KARP, R.M. (1972). Reducibility among combinatorial problems. Complexity of Computer Computations, R.E. Miller et J.W. Thatcher (éd.), Plenum Press, New York, 85-103.

KIM, J-U., et KIM, Y-D. (1999). A decomposition approach to a multi-period vehicle scheduling problem. Omega, 27, 421-430.

KOSKOSIDIS, Y.A. et POWELL, W.B. (1990). Application of optimization based models on vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. Journal of business logistics, 11, 101-128.

LANGEVIN, A., MBARAGA, P. et CAMPBELL, J. (1996). Continuous approximation models in freight distribution: An overview. Transpn. Res., 30, 163-188.

LANGEVIN, A. et SOUMIS, F. (1989). Design of multiple-vehicle delivery tours satisfying time constraints. Transpn. Res. B, 23B, 123-138.

LAPORTE, G. et NOBERT, Y. (1987). Exact algorithms for the vehicle routing problem. Ann. Discr. Math. 31, 147-184.

LAPORTE, G. et SEMET, F. (1998). Classical heuristics for the vehicle routing problem. Cahiers du GERAD G-98-54.

LENSTRA, J.K. et RINNOOY KAN, A.H.G. (1987). Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems. Networks, 11, 221-227.

MAGNANTI, T.L. (1981). Combinatorial optimization and vehicle fleet planning: perspectives and prospects. Networks, 11, 179-213.

MARTELLO, S. et TOTH, P. (1990). Lower Bounds and Reduction Procedures for the Bin Packing Problem. Discrete Applied Mathematics, 28, 59-70.

MINGOZZI, A., GIORGI, S. et BALDACCI, R. (1999 Aug.). An exact method for the vehicle routing problem with backhauls. Transpn. Sci., 33, 315-329.

MORLOK, E.K. et RIDDLE, S.P. (1999). Estimating the capacity of freight transportation systems: a model and its application in transport planning and logistics. Transpn. Res. Record, 1653, 1-8.

MORRIS, A.G., KORNHAUSER, A.L. et KAY, M.J. (1999). Getting the goods delivered in dense urban areas: a snapshot of the last link of the supply chain. Transpn. Res. Record, 1653, 34-41.

NEWELL, G.F. (1973 Nov.). Scheduling, location, transportation, and continuum mechanics; some simple approximations to optimization problems. SIAM J. Appl. Math., 25, 346-360.

ONG, H.L., MAGAZINE, M.J. et WEE, T.S. (1984 Sep.-Oct.). Probabilistic Analysis of Bin Packing Heuristics. Operations Research, 32, 983-998.

RETAIL COUNCIL OF CANADA (1999). The Retail Sector in Canada.

RONEN, D. (1988). Perspectives on practical aspects of truck routing and scheduling. European Journal of Operations Research, 35, 137-145.

SCHRAGE, L. (1981). Formulation and structure of more complex/realistic routing and scheduling problems. Networks, 11, 229-232.

SHERALI, H.D., AL-YAKOOB, S.M. et HASSAN, M.M. (1999). Fleet management models and algorithms for an oil-tanker routing and scheduling problem. IIE Transactions, 31, 395-406.

THOMPSON, P.M. et PSARAFTIS, H.N. (1993 Sept-Oct.). Cyclic transfer algorithms for multivehicle routing and scheduling problems. Operations Research, 41, 935-946.

TRUDEAU, P. et DROR, M. (1992). Stochastic inventory routing : route desing with stockouts and route failures. Transp. Sci., 26, 171-84.

WEE, T.S. et MAGAZINE, M.J. (1982 Apr.). Assembly Line Balancing as Generalized Bin Packing. Operations Research Letters, 1, 56-58.

YANO, C.A., CHAN, T.J., RICHTER, L.P., CUTLER, T., MURTY, K.G. et McGETTIGAN, D. (1987). Vehicle routing at quality stores, Interfaces, 17, 52-63.

ANNEXE I : PSEUDO-CODE SCÉNARIO A

Ces fonctions sont pour les scénarios A et B

Le coût par arrêt et la capacité de remorque peut varier selon le mode de transport

Fonction `tournees1(n As Integer, stTable, TripTable)`

Définir les variables

Ouvrir table de données "stTable"

Ouvrir table contenant les tournées "TripTable"

Effacer le contenu de la table contenant les tournées "TripTable"

Effacer les tournées dans la table de données "stTable"

Pour $i = 1$ à n

BatirTournees1 (stTable, TripTable, i As String)

Effacer les tournées dans le tableau de données

Prochain i

Calculer le coût de la solution

Insérer-le dans la table TripTable

Fermer stTable

Fermer TripTable

Fin de la fonction `tournees1()`

Sub BatirTournees1 (stTable As Recordset, TripTable As Recordset, sWeek As String)

Définir les variables

Convertir sWeek en nombre entier

Aller au début de la liste stTable

Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable et il n'a pas de volume actuel à planifier

Aller au prochain élément dans la liste stTable

Fin de la boucle faire

Affecter le premier client à la première remorque dans la table TripTable

Mise à jour de la table stTable

Aller au prochain élément dans la liste stTable

Algorithme pour les sous-regions *****

Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable

Si le client actuel est dans la région centrale ou il n'a pas de volume à planifier

Sinon

Trouver l'espace la plus petite dans lequel la commande rentre dans la même région et la même semaine

Fin de la boucle si

Si la commande actuelle ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée

Commencer une nouvelle tournée dans TripTable

Sinon

Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable

Fin de la boucle si

Mise à jour de stTable

Aller au prochain élément dans la liste stTable

Fin de la boucle faire

Algorithme pour la région centrale *****

Faire jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de clients fixes de la région centrale à planifier

Trouver la commande la plus grande de la région centrale pas encore planifiée

S'il n'y a plus de clients de la région centrale à planifier

Sinon

Trouver l'espace la plus petite dans lequel la commande rentre dans la même semaine

Si la commande ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée

Commencer une nouvelle tournée dans TripTable

Sinon

Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable

Fin de la boucle si

Mise à jour de stTable

Fin de la boucle si

Fin de la boucle faire

Copier les numéros de tournées dans la semaine appropriée de la table stTable

Fin du Sub BatirTournées1()

ANNEXE II : PSEUDO-CODE SCÉNARIO C

Ces fonctions sont pour le scénario C

Le coût par arrêt et la capacité de remorque peuvent varier selon le mode de transport

Fonction **tournees3** (n As Integer, sched As Integer, stTable, TripTable)

Définir les variables

Ouvrir table de données "stTable"

Ouvrir table contenant les tournées "TripTable"

Effacer le contenu de la table contenant les tournées "TripTable"

Effacer les tournées dans la table de données "stTable"

Pour i = 1 à n

 Jour = lundi

 BatirTournees3 (stTable, TripTable, i As String, Jour, n, sched)

 Effacer les tournées dans le tableau de données

 Jour = mercredi

 BatirTournees3 (stTable, TripTable, i As String, Jour, n, sched)

 Effacer les tournées dans le tableau de données

 Si on planifie 3 fois par semaine (sched = 3)

 Jour = jeudi

 BatirTournees3 (stTable, TripTable, i As String, Jour, n, sched)

 Effacer les tournées dans le tableau de données

 Fin de la boucle si

Prochain i

Calculer le coût de la solution

Insérer-le dans la table TripTable

Fermer stTable

Fermer TripTable

Fin de la fonction **tournees3**()

Sub **BatirTournees3** (stTable As Recordset, TripTable As Recordset, sWeek As String, Jour, n, sched)

Définir les variables

Convertir sWeek en nombre entier

Former l'identification du jour avec la semaine (sWeek) et le jour (Jour)

Aller au début de la liste stTable

Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable et il n'a pas de volume actuel à planifier

Aller au prochain élément dans la liste stTable

Fin de la boucle faire

Affecter le premier client à la première remorque dans la table TripTable

Mise à jour de la table stTable

Aller au prochain élément dans la liste stTable

Algorithme pour les sous-régions *****

Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable

Si le client actuel est dans la région centrale ou il n'a pas de volume à planifier

Sinon

Trouver l'espace le plus petit dans lequel la commande rentre dans la même région et la même semaine

Fin de la boucle si

Si la commande actuelle ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée

Commencer une nouvelle tournée dans TripTable

Sinon

Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable

Fin de la boucle si

Mise à jour de stTable

Aller au prochain élément dans la liste stTable

Fin de la boucle faire

Algorithme pour la région centrale (clients fixes) *****

Faire jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de clients fixes de la région centrale à planifier

Trouver la commande la plus grande de la région centrale pas encore planifiée

S'il n'y a plus de clients de la région centrale à planifier

Sinon

Trouver l'espace le plus petit dans lequel la commande rentre dans la même semaine

Si la commande ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée

Commencer une nouvelle tournée dans TripTable

Sinon

Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable

Fin de la boucle si

Mise à jour de stTable

Fin de la boucle si

Fin de la boucle faire

Algorithme pour la région centrale (clients dynamiques) *****

Faire jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de clients dynamiques qui doivent être planifiée aujourd'hui
 Trouver la commande la plus grande des clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui
 S'il n'y a plus de clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui
 Sinon
 Trouver l'espace le plus grand dans lequel la commande rentre sur une remorque marquée prioritaire dans TripTable
 (Prioritaire veut dire qu'il n'y a pas d'autres clients dynamiques déjà sur la remorque)
 Si la commande ne rentre pas sur une remorque prioritaire
 Trouver l'espace le plus grand dans lequel la commande rentre sur une remorque marquée non-prioritaire dans TripTable
 Si la commande ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée
 Commencer une nouvelle tournée dans TripTable
 Sinon
 Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable
 Fin de la boucle si
 Sinon
 Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable
 Fin de la boucle si
 Mise à jour de stTable
 Fin de la boucle si
 Fin de la boucle faire

 Calculer le volume optionnel disponible pour chacun des clients dynamiques

 Si on n'est pas la dernière journée de la planification
 Aller au début de la liste stTable
 Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable
 Si l'élément actuel est un client dynamique et il a déjà du volume sur une remorque aujourd'hui
 Trouver la remorque dans la table TripTable
 Si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible le prochain jour de planification
 Remplir la remorque tant que possible
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon si on est l'avant dernière journée de la planification
 Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible les deux prochains jours de planification
 Remplir la remorque tant que possible
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon
 Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Fin de la boucle si
 Fin de la boucle si
 Aller au prochain élément de la liste stTable
 Fin de la boucle faire

Aller au début de la liste stTable

Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable

Si l'élément actuel est un client dynamique et il n'a pas déjà du volume sur une remorque aujourd'hui

Si on n'est pas l'avant dernière journée de la planification

S'il n'y pas de volume disponible dans les deux prochains jours de la planification

Sinon s'il y a au moins 300 pi.³ le deuxième jour et aucun volume le prochain jour de la planification

Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.³ dans une remorque

S'il n'y a pas une telle remorque

Sinon

Si l'espace disponible sur la remorque est plus grand que le volume disponible le deuxième jour

Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Sinon

Remplir la remorque tant que possible

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Fin de la boucle si

Fin de la boucle si

Sinon si s'il y a au moins 300 pi.³ disponible dans les deux prochains jours de la planification

Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.³ dans une remorque

S'il n'y a pas une telle remorque

Sinon

Si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible le prochain jour de planification

Remplir la remorque tant que possible

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Sinon si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible les deux prochains jours de planification

Remplir la remorque tant que possible

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Sinon

Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Fin de la boucle si

Fin de la boucle si

Fin de la boucle si

Sinon (on est l'avant dernière journée de la planification)

S'il n'y pas de volume disponible dans le prochain jour de la planification

Sinon s'il y a au moins 300 pi.³ le prochain jour de la planification

Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.³ dans une remorque

S'il n'y a pas une telle remorque

Sinon

Si l'espace disponible sur la remorque est plus grand que le volume disponible le premier jour

Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
Mise à jour de TripTable
Mise à jour de stTable
Sinon
Remplir la remorque tant que possible
Mise à jour de TripTable
Mise à jour de stTable
Fin de la boucle si
Fin de la boucle si
Fin de la boucle si
Fin de la boucle si
Aller au prochain élément de la liste stTable
Fin de la boucle faire
Fin de la boucle si

Copier les numéros de tournées dans la semaine appropriée de la table stTable
Fin du Sub BatirTournées3()

ANNEXE III : PSEUDO-CODE SCÉNARIO D

Ces fonctions sont pour le scénario D

Le coût par arrêt et la capacité de remorque peuvent varier selon le mode de transport

Fonction `tournees4` (n As Integer, sched As Integer, stTable, TripTable)

Définir les variables

Ouvrir table de données "stTable"

Ouvrir table contenant les tournées "TripTable"

Effacer le contenu de la table contenant les tournées "TripTable"

Effacer les tournées dans la table de données "stTable"

Pour i = 1 à n

 BatirTournees4 (stTable, TripTable, i As String, n)

 Effacer les tournées dans le tableau de données

Prochain i

Calculer le coût de la solution

Insérer-le dans la table TripTable

Fermer stTable

Fermer TripTable

Fin de la fonction `tournees4`()

Sub BatirTournees4 (stTable As Recordset, TripTable As Recordset, sWeek As String, n)

Définir les variables

Convertir sWeek en nombre entier

Former l'identification du jour avec la semaine (sWeek) et lundi

Aujourd'hui = lundi

Aller au début de la liste stTable

Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable et il n'a pas de volume actuel à planifier

 Aller au prochain élément dans la liste stTable

Fin de la boucle faire

Affecter le premier client à la première remorque dans la table TripTable

Mise à jour de la table stTable

Aller au prochain élément dans la liste stTable

Algorithme pour les sous-régions *****

Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable

Si le client actuel est dans la région centrale ou il n'a pas de volume à planifier

Sinon

Trouver l'espace le plus petit dans lequel la commande rentre dans la même région et la même semaine

Fin de la boucle si

Si la commande actuelle ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée

Commencer une nouvelle tournée dans TripTable

Sinon

Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable

Fin de la boucle si

Mise à jour de stTable

Aller au prochain élément dans la liste stTable

Fin de la boucle faire

Algorithme pour la région centrale (clients fixes) *****

Faire jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de clients fixes de la région centrale à planifier

Trouver la commande la plus grande de la région centrale pas encore planifiée

S'il n'y a plus de clients de la région centrale à planifier

Sinon

Trouver l'espace le plus petit dans lequel la commande rentre dans la même semaine

Si la commande ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée

Commencer une nouvelle tournée dans TripTable

Sinon

Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable

Fin de la boucle si

Mise à jour de stTable

Fin de la boucle si

Fin de la boucle faire

Algorithme pour la région centrale (clients dynamiques) *****

Lundi (1^{er} jour) *****

Aujourd'hui = lundi

Faire jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui

Trouver la commande la plus grande des clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui

S'il n'y a plus de clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui

Sinon

Trouver l'espace le plus grand dans lequel la commande rentre sur une remorque marquée prioritaire dans TripTable

(Prioritaire veut dire qu'il n'y a pas d'autres clients dynamiques déjà sur la remorque)

Si la commande ne rentre pas sur une remorque prioritaire

Trouver l'espace le plus grand dans lequel la commande rentre sur une remorque marquée non-prioritaire dans TripTable
 Si la commande ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée
 Commencer une nouvelle tournée dans TripTable
 Sinon
 Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable
 Fin de la boucle si
 Sinon
 Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable
 Fin de la boucle si
 Mise à jour de stTable
 Fin de la boucle si
 Fin de la boucle faire

 Calculer le volume optionnel disponible pour chacun des clients dynamiques

 Si on n'est pas la dernière journée de la planification
 Aller au début de la liste stTable
 Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable
 Si l'élément actuel est un client dynamique et il a déjà du volume sur une remorque aujourd'hui
 Trouver la remorque dans la table TripTable
 Si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible le prochain jour de planification
 Remplir la remorque tant que possible
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon si on est l'avant dernière journée de la planification
 Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible les deux prochains jours de planification
 Remplir la remorque tant que possible
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon
 Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Fin de la boucle si
 Fin de la boucle si
 Aller au prochain élément de la liste stTable
 Fin de la boucle faire

 Aller au début de la liste stTable
 Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable
 Si l'élément actuel est un client dynamique et il n'a pas déjà du volume sur une remorque aujourd'hui
 Si on n'est pas l'avant dernière journée de la planification
 S'il n'y pas de volume disponible dans les deux prochains jours de la planification
 Sinon s'il y a au moins 300 pi.³ le deuxième jour et aucun volume le prochain jour de la planification

Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.³ dans une remorque

S'il n'y a pas une telle remorque

Sinon

Si l'espace disponible sur la remorque est plus grand que le volume disponible
le deuxième jour

Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Sinon

Remplir la remorque tant que possible

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Fin de la boucle si

Fin de la boucle si

Sinon si s'il y a au moins 300 pi.³ disponible dans les deux prochains jours de la
planification

Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.³ dans une remorque

S'il n'y a pas une telle remorque

Sinon

Si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible le
prochain jour de planification

Remplir la remorque tant que possible

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Sinon si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume
disponible les deux prochains jours de planification

Remplir la remorque tant que possible

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Sinon

Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Fin de la boucle si

Fin de la boucle si

Fin de la boucle si

Sinon (on est l'avant dernière journée de la planification)

S'il n'y pas de volume disponible dans le prochain jour de la planification

Sinon s'il y a au moins 300 pi.³ le prochain jour de la planification

Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.³ dans une remorque

S'il n'y a pas une telle remorque

Sinon

Si l'espace disponible sur la remorque est plus grand que le volume disponible
le premier jour

Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Sinon

Remplir la remorque tant que possible

Mise à jour de TripTable

Mise à jour de stTable

Fin de la boucle si

```

    Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Aller au prochain élément de la liste stTable
    Fin de la boucle faire
Fin de la boucle si

Le reste de la semaine*****
Mercredi (2e jour)*****

Aujourd'hui = mercredi
Remettre les clients dynamiques disponibles pour être chargés

Faire jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de clients dynamiques qui doivent être planifiée aujourd'hui
    Trouver la commande la plus grande des clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui

    S'il n'y a plus de clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui
    Sinon
        Trouver l'espace le plus grand dans lequel la commande rentre sur une remorque marquée
        prioritaire dans TripTable
        (Prioritaire veut dire qu'il n'y a pas d'autres clients dynamiques déjà sur la remorque)
        Si la commande ne rentre pas sur une remorque prioritaire
            Trouver l'espace le plus grand dans lequel la commande rentre sur une remorque marquée
            non-prioritaire dans TripTable
            Si la commande ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée
                Commencer une nouvelle tournée dans TripTable
            Sinon
                Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable
        Fin de la boucle si
    Sinon
        Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable
    Fin de la boucle si
    Mise à jour de stTable
    Fin de la boucle si
Fin de la boucle faire

Calculer le volume optionnel disponible pour chacun des clients dynamiques

Si on n'est pas la dernière journée de la planification
    Aller au début de la liste stTable
    Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable
        Si l'élément actuel est un client dynamique et il a déjà du volume sur une remorque aujourd'hui
            Trouver la remorque dans la table TripTable
            Si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible le prochain jour
            de planification
                Remplir la remorque tant que possible
                Mise à jour de TripTable
                Mise à jour de stTable
            Sinon si on est l'avant dernière journée de la planification
                Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
                Mise à jour de TripTable

```

```

    Mise à jour de stTable
    Sinon si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible les deux
    prochains jours de planification
        Remplir la remorque tant que possible
        Mise à jour de TripTable
        Mise à jour de stTable
    Sinon
        Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
        Mise à jour de TripTable
        Mise à jour de stTable
    Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Aller au prochain élément de la liste stTable
    Fin de la boucle faire

    Aller au début de la liste stTable
    Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable
        Si l'élément actuel est un client dynamique et il n'a pas déjà du volume sur une remorque
        aujourd'hui
            Si on n'est pas l'avant dernière journée de la planification
                S'il n'y pas de volume disponible dans les deux prochains jours de la planification
                Sinon s'il y a au moins 300 pi.3 le deuxième jour et aucun volume le prochain jour de la
                planification
                    Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.3 dans une remorque
                    S'il n'y a pas une telle remorque
                    Sinon
                        Si l'espace disponible sur la remorque est plus grand que le volume disponible
                        le deuxième jour
                            Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
                            Mise à jour de TripTable
                            Mise à jour de stTable
                        Sinon
                            Remplir la remorque tant que possible
                            Mise à jour de TripTable
                            Mise à jour de stTable
                        Fin de la boucle si
                    Fin de la boucle si
                Sinon si s'il y a au moins 300 pi.3 disponible dans les deux prochains jours de la
                planification
                    Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.3 dans une remorque
                    S'il n'y a pas une telle remorque
                    Sinon
                        Si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible le
                        prochain jour de planification
                            Remplir la remorque tant que possible
                            Mise à jour de TripTable
                            Mise à jour de stTable
                        Sinon si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume
                        disponible les deux prochains jours de planification
                            Remplir la remorque tant que possible
                            Mise à jour de TripTable
                            Mise à jour de stTable

```

```

    Sinon
        Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
        Mise à jour de TripTable
        Mise à jour de stTable
    Fin de la boucle si
Fin de la boucle si
Fin de la boucle si
Sinon (on est l'avant dernière journée de la planification)
    S'il n'y pas de volume disponible dans le prochain jour de la planification
    Sinon s'il y a au moins 300 pi.3 le prochain jour de la planification
        Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.3 dans une remorque
        S'il n'y a pas une telle remorque
        Sinon
            Si l'espace disponible sur la remorque est plus grand que le volume disponible
                le premier jour
                Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
                Mise à jour de TripTable
                Mise à jour de stTable
            Sinon
                Remplir la remorque tant que possible
                Mise à jour de TripTable
                Mise à jour de stTable
            Fin de la boucle si
        Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Aller au prochain élément de la liste stTable
Fin de la boucle faire
Fin de la boucle si

Jeudi(3e jour)*****
Aujourd'hui = jeudi
Remettre les clients dynamiques disponibles pour être chargés

Faire jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de clients dynamiques qui doivent être planifiée aujourd'hui
    Trouver la commande la plus grande des clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui

    S'il n'y a plus de clients dynamiques qui doivent être planifiés aujourd'hui
    Sinon
        Trouver l'espace le plus grand dans lequel la commande rentre sur une remorque marquée
        prioritaire dans TripTable
        (Prioritaire veut dire qu'il n'y a pas d'autres clients dynamiques déjà sur la remorque)
        Si la commande ne rentre pas sur une remorque prioritaire
            Trouver l'espace le plus grand dans lequel la commande rentre sur une remorque marquée
            non-prioritaire dans TripTable
            Si la commande ne rentre pas dans une remorque déjà planifiée
                Commencer une nouvelle tournée dans TripTable
            Sinon
                Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable
            Fin de la boucle si
        Sinon

```

Ajouter-la dans l'espace trouvé dans TripTable
 Fin de la boucle si
 Mise à jour de stTable
 Fin de la boucle si
 Fin de la boucle faire

Calculer le volume optionnel disponible pour chacun des clients dynamiques

Si on n'est pas la dernière journée de la planification
 Aller au début de la liste stTable
 Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable
 Si l'élément actuel est un client dynamique et il a déjà du volume sur une remorque aujourd'hui
 Trouver la remorque dans la table TripTable
 Si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible le prochain jour de planification
 Remplir la remorque tant que possible
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon si on est l'avant dernière journée de la planification
 Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible les deux prochains jours de planification
 Remplir la remorque tant que possible
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Sinon
 Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable
 Fin de la boucle si
 Fin de la boucle si
 Aller au prochain élément de la liste stTable
 Fin de la boucle faire

 Aller au début de la liste stTable
 Faire tant qu'on n'est pas à la fin du fichier stTable
 Si l'élément actuel est un client dynamique et il n'a pas déjà du volume sur une remorque aujourd'hui
 Si on n'est pas l'avant dernière journée de la planification
 S'il n'y pas de volume disponible dans les deux prochains jours de la planification
 Sinon s'il y a au moins 300 pi.³ le deuxième jour et aucun volume le prochain jour de la planification
 Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.³ dans une remorque
 S'il n'y a pas une telle remorque
 Sinon
 Si l'espace disponible sur la remorque est plus grand que le volume disponible le deuxième jour
 Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
 Mise à jour de TripTable
 Mise à jour de stTable


```

Sinon
    Remplir la remorque tant que possible
    Mise à jour de TripTable
    Mise à jour de stTable
Fin de la boucle si
Fin de la boucle si
Sinon si s'il y a au moins 300 pi.3 disponible dans les deux prochains jours de la
    planification
    Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.3 dans une remorque
    S'il n'y a pas une telle remorque
    Sinon
        Si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume disponible le
            prochain jour de planification
            Remplir la remorque tant que possible
            Mise à jour de TripTable
            Mise à jour de stTable
        Sinon si l'espace disponible sur la remorque est moins que le volume
            disponible les deux prochains jours de planification
            Remplir la remorque tant que possible
            Mise à jour de TripTable
            Mise à jour de stTable
    Sinon
        Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
        Mise à jour de TripTable
        Mise à jour de stTable
    Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
Sinon (on est l'avant dernière journée de la planification)
    S'il n'y pas de volume disponible dans le prochain jour de la planification
    Sinon s'il y a au moins 300 pi.3 le prochain jour de la planification
        Trouver l'espace le plus grand d'au moins 300 pi.3 dans une remorque
        S'il n'y a pas une telle remorque
        Sinon
            Si l'espace disponible sur la remorque est plus grand que le volume disponible
                le premier jour
                Mettre la totalité du volume disponible dans la remorque
                Mise à jour de TripTable
                Mise à jour de stTable
        Sinon
            Remplir la remorque tant que possible
            Mise à jour de TripTable
            Mise à jour de stTable
        Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Fin de la boucle si
    Aller au prochain élément de la liste stTable
    Fin de la boucle faire
Fin de la boucle si

```

Copier les numéros de tournées dans la semaine appropriée de la table stTable
Fin du Sub BatirTournées3()

ANNEXE IV
TAUX DE ROTATION DES STOCKS -
INDUSTRIE DU COMMERCE AU DÉTAIL

Source : Retail Council of Canada (1999)

Performance Indicators of Retail Trade – Canada – 1996		
Trade Group	Revenue to Inventory Ratio	Cost of Goods to Inventory Ratio
Supermarkets and Grocery Stores	18,99	14,79
All Other Food Stores	16,3	10,28
Drug and Patent Medicine Stores	6,52	4,67
Shoe Stores	3,59	2,02
Men's Clothing Stores	4,03	2,25
Women's Clothing Stores	5,69	3,09
Other Clothing Stores	4,63	2,74
Household Furniture and Appliance Stores	4,85	3,22
Household Furnishings Stores	4,28	2,54
Motor Vehicle and Recreational Vehicle Dealers	6,02	5,05
Gasoline Service Stations	42,44	33,13
Automotive Parts, Accessories and Services	5,35	2,96
General Merchandise Stores	5,98	4,33
Other Semi-durable stores	4,03	2,43
Other Durable Goods Stores	2,83	1,69
Other Retail Stores	7,04	4,12
All Stores	7,18	5,24